



TUGAS AKHIR - TM 090340

DESAIN DAN ANALISA STRUKTUR *PLATFORM MICRO LATHE CNC MACHINE*

ENDY FRIYANDI PUTRA
NRP : 2111 030 092

DOSEN PEMBIMBING
Hendro Nurhadi, Dipl.-Ing.,Ph.D

PROGRAM STUDI DIPLOMA III
JURUSAN TEKNIK MESIN
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2015



FINAL PROJECT - TM 090340

DESIGN AND ANALYSIS STRUCTURE OF PLATFORM MICRO LATHE CNC MACHINE

ENDY FRIYANDI PUTRA
NRP : 2111 030 092

ADVISOR
Hendro Nurhadi, Dipl.-Ing., Ph.D

D III STUDY PROGRAM
MECHANICAL ENGINEERING DEPARTEMENT
Faculty Of Industrial Technology
Institute Of Technology Sepuluh Nopember
Surabaya
2015

LEMBAR PENGESAHAN

“DESAIN DAN ANALISA STRUKTUR *PLATFORM MICRO LATHE CNC MACHINE* ”

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Ahli Madya
Pada
Bidang Studi Manufaktur
Program Studi Diploma III Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

ENDY FRIYANDI PUTRA

NRP. 2111 030 092

Mengetahui dan Menyetujui
Dosen Pembimbing



Hendro Nurhadi, Dipl.-Ing, Ph.D

NIP. 19751120 200212 1 002

SURABAYA, JANUARI 2015

DESAIN DAN ANALISA STRUKTUR PLATFORM MESIN MICRO LATHE CNC

Nama Mahasiswa : Endy Friyandi Putra
NRP : 2111030092
Jurusan : D3 Teknik Mesin FTI-ITS
Dosen Pembimbing : Hendro Nurhadi, Dipl.-Ing-,Ph.D

ABSTRAK

Perkembangan industri manufaktur yang pesat saat ini membutuhkan penerapan teknologi optimasi dalam proses pemesinan. Proses desain diperlukan pada setiap proses manufaktur dengan tujuan untuk menghasilkan produk akhir dengan biaya produksi yang optimal. Pada mesin CNC terdapat banyak sekali komponen penyusun dan struktur yang rumit, oleh sebab itu perlu dilakukan analisa dan pembuatan desain mesin sebelum dilakukan tahap produksi.

Dalam tugas akhir ini akan dilakukan pembuatan desain *Platform Micro Lathe CNC Machine*. Mesin ini mempunyai dimensi 250 x 75 x 150mm dan 2 sumbu gerak yaitu, sumbu X dan Z. Dan kemudian dilakukan analisa numerik pada struktur *Platform Micro Lathe CNC Machine*.

Tegangan yang terjadi pada meja sumbu Z adalah 4,354 Nmm² (teoritis) dan 4,27 N/mm² (numerik). Jadi desain dikatakan aman untuk digunakan karena tegangan yang terjadi di bawah *yeield strengh* material sebesar 276 N/mm². Diameter minimal *ballscrew* yang digunakan pada penggerak meja sumbu 5 mm.

Kata kunci : CNC, *micro lathe*, *ballscrew*, *platform*, numerik, desain, struktur

DESIGN AND ANALYSIS STRUCTURE OF PLATFORM MICRO LATHE CNC MACHINE

Name : Endy Friyandi Putra
Student Number : 2111030092
Department : D3 Mechanical Engineering FTI-ITS
Final Report Advisor : Hendro Nurhadi, Dipl.-Ing., Ph.D

ABSTRACT

The rapid development of the manufacturing industry today requires the application of technology in the optimization of machining processes. The design process is required at each manufacturing process with the aim to produce a final product with optimal production costs. On CNC machines there are many constituent components and complicated structure, therefore it is necessary to analyze the design and manufacture of machinery before the production phase.

In the final project will be the creation of design Platform Micro Lathe CNC Machine. This machine has a dimension of 250 x 75 x 150mm and 2 axes of motion, namely, axes X and Z. And then performed a numerical analysis of the structure of the Platform Micro Lathe CNC Machine.

Voltage that occurs in the Z-axis table is 4.354 N/mm^2 (theoretical) and 4.27 N/mm^2 (numerical). So the design is safe to use because the voltage that occurs under yield material strength of 276 N/mm^2 . Minimum diameter ballscrew used to drive axis table 5mm.

Keywords : CNC, Micro Lathe, Ballscrew, Platform, Numerical, Design, Structure

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Wr . Wb

Segala puji syukur atas kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan seluruh pengerjaan Tugas Akhir ini dengan judul **“DESAIN DAN ANALISA STRUKTUR PLATFORM MICRO LATHE CNC”**. Sekiranya bila masih memiliki kekurangan pada pengerjaan Tugas Akhir ini penulis mohon maaf yang sebesar besarnya.

Adapun pengerjaan Tugas Akhir ini bertujuan untuk menyelesaikan studi guna mendapatkan gelar Ahli Madya di Program Studi Diploma III Teknik Mesin FTI – ITS.

Dari awal mula pengerjaan Tugas Akhir ini, banyak dorongan yang penulis dapatkan serta inspirasi dan pelajaran dari beberapa kerabat , saudara , dan juga Dosen – dosen di lingkungan kampus DIII Teknik Mesin ITS. Dalam kesempatan kali ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar – besarnya kepada :

1. Bapak **Hendro Nurhadi , Dipl-Ing.,Ph.D** selaku dosen pembimbing yang telah meluangkan waktu, tenaga, dan pikiran untuk memberikan ide, arahan, bimbingan dan motivasi penuh atas pengerjaan Tugas Akhir ini.
2. Bapak **Ir. Suharyanto, MT** selaku Kaprodi D-III Teknik Mesin FTI – ITS.
3. Ibu **Lisa Rusdiyana ST, MT** selaku dosen wali selama di D3 Teknik Mesin FTI – ITS dan koordinator tugas akhir D3 Teknik Mesin FTI – ITS.
4. Segenap **Bapak/Ibu Dosen Pengajar dan Karyawan** di Jurusan D3 Teknik Mesin FTI-ITS, yang telah memberikan banyak ilmu dan pengetahuan selama penulis menuntut ilmu di kampus ITS.
5. **Orang tua tercinta Bapak dan Ibu serta kakak** yang sungguh tak terhingga memberikan kasih sayang, doa,

dukungan untuk selalu berusaha yang terbaik, semoga Allah SWT memberikan balasan yang terbaik serta memuliakan.

6. **Elvia Endang Setyorini** yang selalu memberikan semangat, doa, dan motivasi dari awal hingga akhir.
7. Sahabat-sahabat D3MITS **Aris S, Rouf, Anggoro, Ni'am, Rike**, dan lain – lain yang terlalu banyak kalau disebutkan atas canda tawa dan tingkah laku yang membuat pikiran tidak jenuh.
8. Anak – anak Laboratorium Mekatronika D3MITS **Luhur, Iwan, Asep, Hamdani, Affac, Dra'uk, Rudi, Nanang, Tri, Fikri** dll yang selama pengerjaan Tugas Akhir ini saling bahu membahu.
9. **Yoga, Adhimas, Helmi, Aris, Candra Gede, Wahyu A, Rishad** yang rela meluangkan waktu untuk diajak shearing.
10. Serta berbagai pihak didalam maupun dari luar lingkup kampus ITS yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu, namun sangat penting bagi pembuatan Tugas Akhir ini.

Semoga yang tersebut diatas mendapatkan ganjaran yang melimpah dari Allah SWT atas keikhlasan untuk membantu dalam proses pengerjaan Tugas Akhir ini

Penulis berharap dengan terselesaikannya Tugas Akhir ini menjadi motivasi bagi teman – teman yang nantinya mengerjakan Tugas Akhir dan juga memberi manfaat disekitar . Amin

Wassalamualaikum Wr. Wb

Surabaya, Januari 2015

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL

LEMBAR PENGESAHAN.....	i
ABSTRAK.....	ii
ABSTRAC	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR SIMBOL	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan	3
1.5 Manfaat	3
1.6 Sistematika Penulisan	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Mesin CNC	5
2.1.1 Klasifikasi Proses Pemesinan.....	6
2.1.2 Mesin Bubut CNC	7
2.1.3 Mesin Milling CNC	8
2.2 Komponen Mesin CNC.....	10
2.2.1 <i>Main Spindle</i>	10

2.2.2 <i>Servo Motor</i>	11
2.2.3 <i>Chuck</i>	12
2.2.4 <i>Ballcrew</i>	13
2.2.4.1 Karakteristik <i>Ballscrew</i>	14
2.2.4.2 Pemilihan diameter <i>Ballscrew</i>	16
2.2.5 <i>Linier Guideway</i>	17
2.2.6 <i>Bearing</i> atau Bantalan.....	18
2.2.7 <i>Flexible Coupling</i>	20
2.2.8 <i>Panel Box</i>	20
2.3 Elemen Dasar Proses Bubut	21
2.4 Sifat Mekanik.....	24
2.5 Material yang Digunakan.....	26
2.6 Metode Elemen Hingga	27
2.6.1 <i>Meshing</i>	29
2.6.2 <i>Boundary Conditonal</i>	29
2.7 Keseimbangan Benda Tegar	30
2.8 Tegangan.....	30
2.9.1 Tegangan Tarik (<i>Tensile Stress</i>)	30
2.9.2 Tegangan Tekan (<i>Compressive Stress</i>).....	31
2.9.3 Tegangan Bending	32
2.9.4 Tegangan Ijin, Faktor Keamanan.....	32
2.10 Perhitungan Gaya	33
2.9.1 Gaya Normal dan Bidang Gaya Normal (<i>Normal Diagram</i>).....	33
2.9.2 Gaya Melintang dan Bidang Melintang (<i>Shear Force Diagram</i>)	34

2.9.3 Momen dan Bidang Momen (<i>Bending Momen Diagram</i>).....	36
2.11 Defleksi	37
BAB III METODOLOGI.....	39
3.1 Diagram Alir Penelitian	39
3.1.1 Metodologi Desain dan Analisa <i>Micro Lathe CNC</i>	40
3.2 Diagram Alir Simulasi ANSYS.....	42
3.3 Diagram Alir Perencanaan <i>Ballscrew</i>	45
BAB IV PERHITUNGAN DAN ANALISA	47
4.1 Desain menggunakan <i>software CAD</i>	47
4.2 Material yang Digunakan	48
4.3 Jangkauan Gerak Sumbu	48
4.4 Perhitungan Teoritis.....	49
4.4.1 Perhitungan Putaran <i>Spindle</i>	49
4.4.2 Perhitungan Gerak Makan	50
4.4.3 Perhitungan Kecepatan Makan	51
4.4.4 Perhitungan Kecepatan Penghasil Geram (MRR).....	51
4.4.5 Perhitungan Gaya Potong (F_c)	51
4.5 Menentukan Titik Berat	53
4.6 Reaksi Gaya Pada Sumbu Z	54
4.7 Perhitungan Menggunakan Metode Elemen Hingga	65
4.7.1 Analisa Numerik Pada Meja Sumbu Z	65
4.7.2 Tegangan Ijin Pada Meja Sumbu Z	68

4.8 Perencanaan Ulir Penggerak Pada <i>Micro Lathe CNC</i>	69
4.8.1 Perencanaan Ulir Penggerak pada Sumbu X.....	69
4.8.2 Perencanaan Ulir Penggerak pada sumbu Z.....	69
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	71
5.1 Kesimpulan.....	71
5.2 Saran	71
DAFTAR PUSTAKA	

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Spesifik Energi	22
Tabel 2.2 <i>Speeds and feeds in various metal-cutting operations</i>	24
Tabel 2.3 Perbandingan Kekuatan Tarik Beberapa Paduan	20
Tabel 4.1 Spesifikasi Material Aluminium 6061 T6	48
Tabel 4.2 Jangkauan Sumbu X dan Z	49
Tabel 4.3 Total Massa Komponen Pada Meja Sumbu X	55
Tabel 4.4 Total Massa Komponen Pada Meja Sumbu Z	55
Tabel 4.5 Tegangan Yang Terjadi	68

Halaman sengaja dikosongkan

DAFTAR GAMBAR R

Gambar 2.1 Mekanisme arah gerak CNC Bubut	8
Gambar 2.2 Mesin Milling Horizontal	9
Gambar 2.3 Sumbu CNC Milling Vertikal.....	9
Gambar 2.4 <i>Platform</i> Mesin CNC.....	10
Gambar 2.5 <i>CNC Lathe Spindle</i>	10
Gambar 2.6 <i>Servo Motor</i>	12
Gambar 2.7 <i>Micro Chuck</i>	13
Gambar 2.8 <i>Ballscrew</i>	14
Gambar 2.9 Kurva Efisiensi <i>Ballcrew</i>	14
Gambar 2.10 <i>Backlash</i> pada <i>Ballscrew</i>	15
Gambar 2.11 <i>Linear Guide Ways</i>	17
Gambar 2.12 Roll Bearing dan Ball Bearing.....	19
Gambar 2.13 Macam-Macam <i>Flexible Coupling</i>	20
Gambar 2.14 <i>Panel Box</i>	21
Gambar 2.15 Grafik <i>Machining</i>	23
Gambar 2.16 Hasil Penentuan <i>Boundary Conditional</i>	29
Gambar 2.17 Tegangan Pada Balok	30
Gambar 2.18 Gaya Tarik Aksial	31
Gambar 2.19 Gaya Tekan Aksial	31
Gambar 2.20 Gaya Nornal	34
Gambar 2.21 Bidang Gaya Normal	34
Gambar 2.22 Gaya Melintang	35
Gambar 2.23 Bidang Gaya Melintang	35
Gambar 2.24 Momen	36
Gambar 2.25 Bidang Momen Positif	36
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian.....	39
Gambar 3.2 Diagram Alir Simulasi ANSYS.....	42
Gambar 3.3 Diagram Alir Perencanaan <i>Ballscrew</i>	45
Gambar 4.1 Desain <i>Micro Lathe CNC Machine</i>	47
Gambar 4.2 Persumbuan <i>Micro lathe CNC Machine</i>	49
Gambar 4.3 Posisi Perautan Meja Sumbu Z	54

Gambar 4.4 Diagram Benda Bebas Meja Sumbu Z	54
Gambar 4.5 Diagram Benda Bebas Meja Sumbu Z	56
Gambar 4.6 Diagram Benda Bebas Potongan	57
Gambar 4.7 Diagram Benda Bebas Potongan I-I	58
Gambar 4.8 Diagram Benda Bebas Potongan II-II	59
Gambar 4.9 Diagram Benda Bebas Potongan III-III	60
Gambar 4.10 Diagram Benda Bebas Potongan IV-IV	61
Gambar 4.11 Diagram Benda Bebas Potongan V-V	62
Gambar 4.12 Diagram Momen	63
Gambar 4.13 Diagram Gaya Geser	64
Gambar 4.14 Model Support CNC pada Ansys	66
Gambar 4.15 Hasil Meshing CNC	66
Gambar 4.16 Pemberian Pembebanan gaya dengan <i>Pressure Force</i>	67
Gambar 4.17 Tegangan pada Meja Sumbu X.....	78

DAFTAR SIMBOL

f	Gerak Makan	mm/rev
n	Putaran poros utama	rpm
V_c	Kecepatan potong	m/min
v_f	Kecepatan makan	mm/min
MRR	Material Removal Rate	mm ³ /min
d	Diameter	mm
u	Spesifik energi	W.s/mm ³
T	Torsi	N.m
ω	Omega	rad/s
F_c	Gaya Potong	N
F	Gaya	N
M	Momen	N.m
I	Inersia	mm ⁴
b	Panjang Penampang	mm
h	Tinggi penampang	mm
σ	Tegangan	N/mm ²
A	Luas penampang	mm ²
a	Kedalaman pemotongan	mm
M_b	Momen bending	N.m
I/c	Modulus Penampang	mm ⁴
N	Gaya normal	N
t_c	Waktu Pemotongan	min
δ	Defleksi	mm
L	Panjang	mm
E	Modulus Elastisitas	N/m ²

Halaman sengaja dikosongkan

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan industri manufaktur yang sangat pesat akhir-akhir ini membutuhkan penerapan teknologi optimasi dalam proses pemesinan. Hal ini terkait dengan tingginya daya saing dan meningkatnya permintaan akan produksi yang berkualitas di pasar. Untuk menghasilkan produk yang berkualitas, industri manufaktur harus mengendalikan proses manufakturnya.

Proses desain diperlukan pada setiap proses manufaktur dengan tujuan untuk menghasilkan produk akhir dengan biaya produksi yang optimal karena sebagian biaya produksi ditentukan pada setiap desain. Aplikasi *parametric configuration* dapat menjawab permasalahan tersebut, dimana jika terdapat permintaan produk meningkat dengan ragam bentuk dan ukuran maka para desainer dapat dengan mudah dan cepat menyelesaikan desainya dengan pemanfaatan *software*.

Salah satu produk manufaktur yang mempunyai banyak sekali variasi dan ukuran adalah mesin CNC. Mesin CNC (*Computer Numerical Control*). Merupakan salah satu jenis dari sekian banyak mesin NC (*Numerical Control*). Dengan memanfaatkan teknologi tersebut maka dapat membuat desain platform mesin *Micro Lathe* yang dikendalikan secara *numeric* untuk meningkatkan produktifitas suatu perusahaan.

Pada dasarnya, konstruksi dari sebuah mesin NC seperti CNC terdiri dari beberapa bagian, yaitu bagian sistem pengendali dan struktur mekanik mesin. Pada mesin CNC banyak dijumpai komponen-komponen mekanik dengan berbagai variasi ukuran. Maka sebelum dilakukan perancangan mesin perlu dilakukan pembuatan desain, perhitungan, analisa karakter pada mesin CNC dan mesin bubut.

Mengingat adanya kebutuhan tersebut, maka dalam tugas akhir ini ingin membuat desain *platform Micro Lathe CNC Machine* dan analisa secara numerik pada struktur mekanik untuk mengetahui besar gaya yang timbul dan tegangan yang terjadi pada meja sumbu Z

mesin. *Micro Lathe CNC* adalah mesin bubut mini yang mempunyai dimensi 250mm × 75mm × 150mm dan mempunyai 2 sumbu gerak yang dijalankan secara numerik.

1.2 Rumusan Masalah

Dengan adanya latar belakang yang mendorong tugas akhir ini, maka ada beberapa rumusan masalah yang muncul sebagai pertanyaan pedoman agar sesuai dengan apa yang penulis inginkan diantara rumusan masalah tersebut adalah :

1. Bagaimana membuat desain *Micro Lathe CNC Machine*.
2. Bagaimana menganalisa dan menentukan bagian meja sumbu Z *Micro Lathe CNC Machine* yang baik dan aman.
3. Bagaimana menentukan diameter *ball screw* yang sesuai dengan *Micro Lathe CNC Machine*

1.3 Batasan Masalah

Pada pembahasan tugas akhir ini perlu adanya ruang lingkup yang membatasi pembahasan agar tidak meluas dan menjadikan tugas akhir ini terdapat fokus, diantaranya :

1. Pembuatan desain menggunakan *software Solidwork*.
2. Material yang digunakan untuk mesin CNC adalah Alumunium 6061 T6.
3. Perhitungan mekanika teknik dalam kondisi statik kemudian analisa dengan *software ansys* memasuki *strength* material.
4. Perencanaan aktuator mekanis menggunakan *ballscrew* dan *linier guide ways*.
5. Pada simulasi numerik benda kerja sesuai gambar teknik.
6. Perhitungan dan perencaan motor.
7. Tidak membahas perhitungan dan perencanaan sambungan.
8. Tidak membahas perhitungan dan perencanaan elektronik.

1.4 Tujuan

Adapun tujuan penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Memperoleh desain *Micro Lathe CNC Machine*.
2. Mengetahui meja sumbu Z *Micro Lathe CNC Machine* yang baik dan aman.
3. Mengetahui diameter *ballscrew* yang sesuai dengan spesifikasi *Micro Lathe CNC Machine*.

1.5 Manfaat

Manfaat yang bisa diperoleh dari tugas akhir adalah sebagai berikut :

1. Sebagai penunjang penelitian berikutnya khususnya dibidang CNC.
2. Memberikan gambaran desain *platform Micro Lathe CNC Machine*.
3. Sebagai bahan referensi bagi penelitian dalam rangka pengembangan pengetahuan tentang analisa kekuatan struktur secara numerik.

1.6 Sistematika Penulisan

Alur penyusunan untuk memberikan gambaran penjabaran mengenai bagian-bagian tugas akhir diantaranya sebagai berikut :

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini menjelaskan secara singkat tinjauan secara umum mengenai latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan, sistematika penulisan, dan manfaat dari tugas akhir ini.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini menjelaskan beberapa teori penunjang yang digunakan untuk menyelesaikan tugas akhir ini, berupa desain *Micro Lathe CNC Machine*.

BAB III METODOLOGI

Bab ini menjabarkan alur proses kegiatan tugas akhir ini dari mulai sampai penyelesaiannya.

BAB IV ANALISA DAN PERHITUNGAN

Bab ini menjelaskan bagaimana perancangan dan pembuatan struktur serta analisa data, dimulai dari permodelan menggunakan software.

BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi kesimpulan dari pembahasan masalah serta saran yang diberikan untuk pengembangan selanjutnya

DAFTAR PUSTAKA

Berisi tentang sumber referensi yang terkait dengan materi pembahasan, berupa buku, jurnal tugas akhir terdahulu, maupun *website* yang dijadikan acuan untuk menyelesaikan tugas akhir ini.

LAMPIRAN

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Teori yang digunakan untuk menunjang penulisan tugas akhir sebagai referensi dan bahan yang diperlukan serta data-data yang diperlukan adalah sebagai berikut :

2.1 Mesin CNC

Computer numerical control merupakan sistem otomasi mesin perkakas yang dioperasikan oleh perintah yang diprogram secara abstrak dan disimpan dimedia penyimpanan, hal ini berlawanan dengan kebiasaan sebelumnya dimana mesin perkakas biasanya dikontrol dengan putaran tangan atau kontrol otomasi sederhana menggunakan cam.

Kata NC sendiri adalah singkatan dalam bahasa inggris dari kata *numerical control* yang artinya *control numerik* .Mesin NC pertama diciptakan pertama kali pada tahun 40-an dan 50-an, dengan memodifikasi mesin perkakas biasa. Dalam hal ini mesin perkakas biasa ditambahkan dengan motor yang akan menggerakkan pengontrol mengikuti titik-titik yang dimasukkan kedalam sistem. Mesin perpaduan antara servo motor dan mekanis ini segera digantikan dengan sistem analog dan kemudian komputer digital, menciptakan mesin perkakas modern yang disebut mesin CNC (*computer numerical control*) yang dikemudian hari telah merevolusi proses desain. Saat ini mesin CNC mempunyai hubungan yang sangat erat dengan program CAD. Mesin-mesin CNC dibangun untuk melakukan proses pemesinan di dunia manufaktur modern. Dengan mesin CNC, ketelitian suatu produk dapat dijamin hingga 1/100 mm lebih, pengerjaan produk masal dengan hasil yang sama persis dan waktu permesinan yang cepat.

NC/CNC terdiri dari tiga bagian utama :

1. *Mechanical*
2. *Electrical*
3. *Chasing*

Prinsip kerja NC atau CNC secara sederhana dapat diuraikan sebagai berikut :

2. Programer membuat program CNC sesuai produk yang akan dibuat dengan cara pengetikan langsung pada mesin CNC maupun dibuat pada komputer dengan *software* pemrograman CNC.
3. Program CNC tersebut, lebih dikenal sebagai G-Code, seterusnya dikirim dan dieksekusi oleh prosesor pada mesin CNC menghasilkan pengaturan motor servo pada mesin untuk menggerakkan perkakas yang bergerak melakukan proses pemrosesan hingga menghasilkan produk sesuai program.

Dalam dunia fabrikasi mekanik, banyak jenis mesin yang dilibatkan di dalamnya, antara lain : mesin Milling, mesin *Turning* (bubut), Mesin Gerinda, mesin *Drill* (bor), dan lain-lain. Kegunaannya yaitu :

- a. Mesin Milling untuk membuat benda kerja dengan bentuk dasar balok
- b. Mesin Turning untuk membuat benda kerja dengan bentuk dasar silindris
- c. Mesin Drill untuk membuat lubang
- d. Mesin Gerinda untuk menghaluskan permukaan benda

2.1.1 Klasifikasi Proses Pemesinan

Proses pemesinan dapat diklasifikasikan dalam dua klasifikasi besar yaitu proses pemesinan untuk membentuk benda kerja silindris dengan benda kerja atau pahat berputar, dan proses pemesinan untuk membentuk benda kerja permukaan datar tanpa memutar benda kerja. Klasifikasi yang pertama meliputi proses bubut dan variasi proses yang dilakukan dengan menggunakan mesin bubut, mesin gurdi (*drilling machine*), mesin frais (*milling machine*), mesin gerinda (*grinding machine*). Klasifikasi kedua meliputi proses sekrap (*shaping planing*), proses slot (*sloting*), proses menggergaji (*sawing*), dan proses pemotongan roda gigi (*gear cutting*).

Proses pemesinan dilakukan dengan cara memotong bagian benda kerja yang tidak digunakan dengan menggunakan pahat (*cutting tool*), sehingga terbentuk permukaan benda kerja menjadi komponen

yang dikehendaki. Pahat yang digunakan pada satu jenis mesin perkakas akan bergerak dengan gerakan yang relatif tertentu (berputar atau bergeser) disesuaikan dengan bentuk benda kerja yang akan dibuat. Pahat, dapat diklasifikasikan sebagai pahat bermata potong tunggal (*single point cutting tool*) dan pahat bermata potong jamak (*multiple point cutting tool*). Pahat dapat melakukan gerak potong (*cutting*) dan gerak makan (*feeding*).

2.1.2 Mesin Bubut CNC

Mesin Bubut CNC secara garis besar dapat digolongkan menjadi dua yaitu :

1. Mesin Bubut CNC *Training Unit* (CNC TU)
2. Mesin Bubut CNC *Production Unit* (CNC PU)

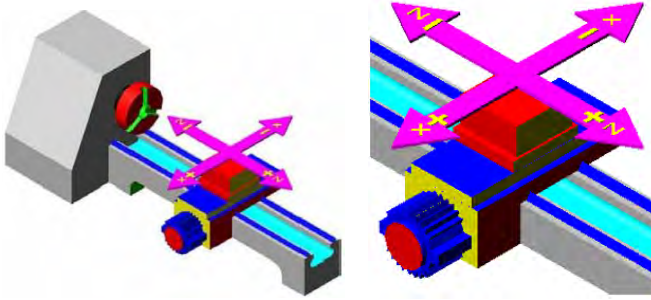
Kedua mesin tersebut mempunyai prinsip kerja yang sama, akan tetapi yang membedakan kedua mesin ini adalah penggunaannya dilapangan. CNC TU digunakan untuk pelatihan dasar pemrograman dan pengoperasian dengan CNC yang dilengkapi dengan EPS (*External Programing Sistem*). Mesin CNC jenis Training Unit hanya mampu dipergunakan untuk pekerjaan – pekerjaan ringan dengan bahan yang relatif lunak.

Sedangkan Mesin CNC PU dipergunakan untuk produksi masal, sehingga mesin ini dilengkapi dengan assesoris tambahan seperti sistem pembuka otomatis yang menerapkan prinsip kerja hidrolis, pembuangan tatal, dan sebagainya.

Gerakan Mesin Bubut CNC dikontrol oleh komputer, sehingga semua gerakan yang berjalan sesuai dengan program yang diberikan, keuntungan dari sistem ini adalah kemungkinan mesin untuk diperintah mengulang gerakan yang sama secara terus menerus dengan tingkat ketelitian yang sama.

Mesin Bubut CNC mempunyai prinsip gerakan dasar seperti halnya mesin bubut konvensional yaitu gerakan ke arah melintang dan horizontal dengan sistem koordinat sumbu X dan Z. Prinsip kerja mesin bubut CNC -2 Axis juga sama dengan mesin bubut konvensional yaitu benda kerja yang dipasang pada cekam bergerak sedangkan alat potong diam.

- a. Sumbu X untuk arah gerakan melintang tegak lurus terhadap sumbu putar.
- b. Sumbu Z untuk arah gerakan memanjang yang sejajar sumbu putar.



Gambar 2.1 Mekanisme arah gerak CNC Bubut

2.1.3 Mesin Milling CNC

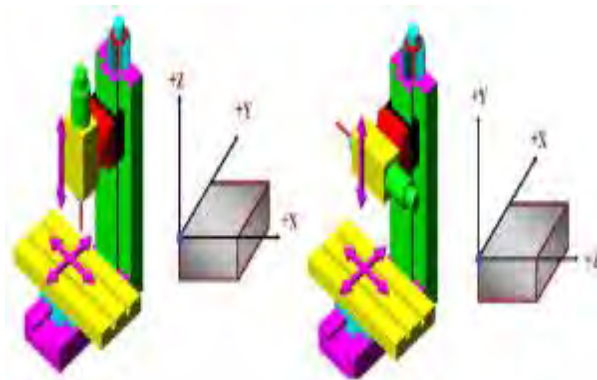
Mesin Frais CNC merupakan mesin yang paling mampu melakukan banyak tugas bila dibandingkan dengan mesin perkakas yang lain. Sebagai hasilnya, *mesin frais CNC* mampu meratakan permukaan datar maupun berlekuk dengan tingkat ketelitian istimewa. Selain itu mesin ini juga berguna untuk menghaluskan atau meratakan benda kerja sesuai dengan dimensi yang dikehendaki. Tetapi proses penghalusan atau perataan ini membutuhkan pelumas bisa menggunakan oli sebagai pendingin mata milling agar tidak cepat aus. Proses milling merupakan proses yang menghasilkan chips atau beram. Hasil dari proses milling adalah permukaan yang datar atau berbentuk profil pada ukuran dan kehalusan atau kualitas permukaan yang ditentukan.

Penggunaan *mesin frais CNC* pada industri-industri produksi besar atau manufacturing sudah menjadi hal wajib, mengingat mesin ini dapat menghasilkan produk massal dengan hasil yang memuaskan.



Gambar 2.2 Mesin Milling Horizontal

Sistem persumbuan pada mesin CNC mengikuti sistem persumbuan umum yang telah ditetapkan ISO, yaitu sumbu Untuk gerakan lurus ketiga sumbu tersebut dapat bergerak bersamaan, sedangkan untuk gerakan melingkar hanya dua sumbu yang dapat bergerak secara bersamaan



Gambar 2.3 Sumbu CNC Milling Vertikal

2.2 Komponen Mesin CNC

Komponen pada platform mesin CNC secara umum antara lain yaitu :



Gambar 2.4 *Platform* Mesin CNC

2.2.1 *Main Spindle*

Sumbu utama atau dikenal dengan *main spindle* merupakan suatu sumbu utama mesin bubut yang berfungsi sebagaiudukan *chuck* (cekam), plat pembawa, kolet, senter tetap dan lain-lain. *Main Spindle* digerakan oleh motor yang dilengkapi oleh transmisi berupa *belting* atau kopling. Seperti halnya meja mesin, spindle ini juga bisa digerakkan oleh motor.



Gambar 2.5 *CNC Lathe Spindle*

2.2.2 *Servo Motor*

Motor servo adalah motor yang mampu bekerja dua arah (CW dan CCW) dimana arah dan sudut penggerak rotornya dapat dikendalikan hanya dengan memberikan pengaturan duty cycle sinyal pada bagian pin kontrolnya. Motor servo adalah jenis motor yang digunakan sebagai penggerak pada sistem servo, seperti pada penggerak control posisi lengan robot.

Karakteristik dasar yang dibutuhkan untuk motor servo adalah sebagai berikut: Mendapatkan output daya yang memadai sesuai dengan beban kerja.

1. Merespon perintah dengan cepat.
2. Memiliki akselerasi yang baik.
3. Memiliki rasio kecepatan yang luas.
4. Dapat dikendalikan pada kecepatan yang aman di semua rasio kecepatan.
5. Dapat dioperasikan secara terus-menerus untuk waktu yang lama
6. Menghasilkan frekuensi percepatan dan perlambatan.
7. Memiliki resolusi tinggi untuk menghasilkan torsi yang memadai.
8. Mudah dalam mengoperasikan dan memiliki akurasi putaran tinggi.
9. Untuk menghasilkan torsi yang cukup untuk menggerakkan maupun menghentikan.
10. Untuk memiliki keandalan yang tinggi dan umur panjang.
11. Mudah dalam perawatan.



Gambar 2.6 *Servo Motor*

2.2.3 *Chuck*

Chuck merupakan salah satu komponen mesin bubut yang berfungsi untuk mencekam benda kerja yang akan dibubut. Chuck terdiri bagian yang bisa bergerak, yaitu rahang yang bergerak bergeser jika kunci chucknya diputar, ada 2 macam chuck, yaitu;

- a. Chuck rahang 3(tiga)
- b. Chuck rahang 4(empat)

Rahang chuck akan bergerak mencekam, jika ulir melingkar yang ada di rumah chuck digerakkan oleh kunci chuck yang ada di bagian luar rumah chuck, yang berbentuk kunci segi empat. Jika kunci tersebut diputar kekanan maka ulir melingkar bergerak, ulir tersebut terhubung dengan rahang yang akan membawanya bergerak masuk (menjepit). Jika kunci chuck diputar ke kiri maka rahang akan bergerak keluar (melepas).



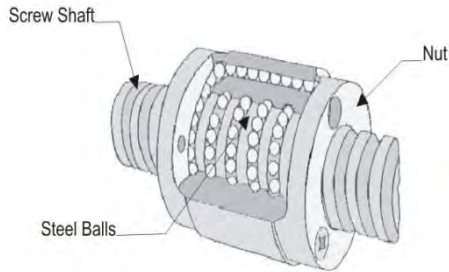
Gambar 2.7 *Micro Chuck*

2.2.4 ***Ballcrew***

Ballcrew adalah aktuator mekanik yang menterjemahkan gerak rotasi menjadi gerakan linier dengan gesekan minimum. Sebuah poros berulir menjadi lintasan heliks bagi bantalan bola baja (*ball bearing*) yang bertindak sebagai sekrup presisi (*precision screw*). Elemen mekanik ini mampu diaplikasikan atau menahan beban dorongan tinggi, namun dengan gesekan internal minimum. Oleh karena desain dan pembuatan *ballscrew* dengan toleransi relatif kecil, maka cocok untuk pengaplikasian dalam kondisi dimana kepresisian tinggi diperlukan.

Klasifikasi *ballscrew* dilihat dari konfigurasi sistem sirkulasi bola bantalan pada nut.

- Sirkulasi eksternal dengan tabung pembalik
- Sirkulasi internal dengan tutup pembalik
- Sirkulasi antara ujung penutup dengan sistem pembalik

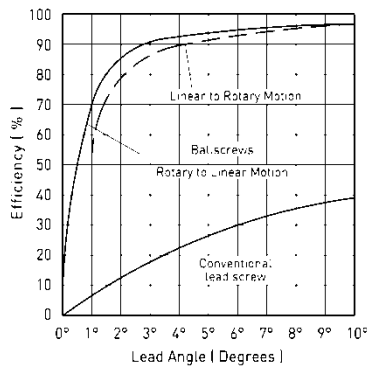


Gambar 2.8 *Ballscrew*

2.2.4.1 Karakteristik *Ballscrew*

- Efisiensi Tinggi

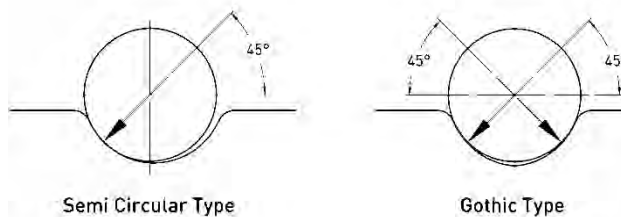
Secara umum ulir penggerak mempunyai efisiensi antara 30% s/d 75%, tergantung pada sudut helix dan koefisien gesek antara ulir pada batang dengan ulir pada mur. Namun pada *ballscrew* mempunyai efisiensi sampai dengan 90%. Berikut adalah tabel efisiensi menggunakan ulir penggerak *ballscrew*.



Gambar 2.9 Kurva Efisiensi Ballscrew

- *Backlash and High Stiffnes*

Pada setiap ulir penggerak pasti mempunyai *backlash* untuk memudahkan ulir penggerak untuk menghasilkan gerakan yang optimal bahkan presisi. Dalam mesin CNC memerlukan ulir yang memiliki *backlash* sekecil mungkin dan deformasi elastis yang minim, oleh karena itu mesin CNC menggunakan penggerak ulir *ballscrew*. *Ballscrew* dirancang dengan bentuk lengkungan pada *balltrack* (alur bolanya). Gerakan bolak-balik pada *ballscrew* sangat dibutuhkan untuk mencapai kekakuan yang tinggi. Namun gesekan bolak-balik yang berlebihan dapat meningkatkan torsi gesekan dalam pengoperasian. Oleh karena itu, torsi gesekan akan menghasilkan panas dan memperpendek usia *ballscrew*. Berikut adalah backlash yang terjadi pada *ballscrew*.



Gambar 2.10 *Backlash* pada *Ballscrew*

- *Head Lead Accuracy*

Pembuatan *ballscrew* terdapat pengukuran laser yang baik sehingga dihasilkan *ballscrew* dengan tingkat akurasi yang tinggi.

- *Predictable Life Expectancy*

Berbeda dengan *lead screw*. Yang diatur oleh gesekan permukaan secara langsung. *Ballscrew* ini dapat digunakan sampai tingkat kelelahan pada material logam *ballscrew*.

- *Low Starting Torque and Smooth Running*

Pada *lead screw* dihasilkan gesekan pada permukaan logam sehingga membutuhkan tenaga yang tinggi untuk mengurangi gesekan-gesekan yang terjadi. Sedangkan dalam *ballscrew* dibutuhkan tenaga awal yang lebih kecil untuk mengurangi gesekan dikarenakan adanya bola yang terdapat pada permukaan *ballscrew*.

2.2.4.2 Pemilihan Diameter *Ballscrew*

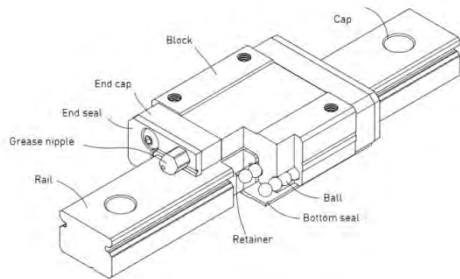
Untuk pemilihan perencanaan ulir penggerak *ballscrew* mengacu pada diameter minor pada ballscrew dan bisa dihitung dengan menggunakan rumus 2.4 Sesuai dengan menghitung diameter poros dan nantinya ditambah dengan tinggi *diameter ball* sesuai dengan bentuk ulir ballscrew sesuai dengan katalog. Dengan rumus sebagai berikut :

$$\begin{aligned}\frac{F}{A} &\leq \frac{\sigma_{yp}}{sf} \\ \frac{F}{\frac{1}{4}\pi d^2} &\leq \frac{\sigma_{yp}}{sf} \\ \frac{4F}{\pi d^2} &\leq \frac{\sigma_{yp}}{sf} \\ d &\geq \sqrt{\frac{4F \cdot sf}{\pi \sigma_{yp}}} \dots\dots\dots (2.1)\end{aligned}$$

2.2.5 Linear Guideway

Linear Guideway kemungkinan jenis gerakan linier yang memanfaatkan elemen berputar seperti ball dan roller. Selain itu, dengan menggunakan elemen berputar antara rel dan blok, sebuah *linear guideway* dapat mencapai kepresisian tinggi untuk gerakan linier. Dibandingkan dengan sistem sliding tradisional, koefesien

gesek pada linear *guideways* hanya 1/50 kalinya. Oleh karena efek *restraint* antara blok dan rel, maka *linear guideway* dapat mengambil beban vertikal dan horisontal.



Gambar 2.11 *Linear Guide Ways*

Pada *linear guideways* ada dua bagian secara umum yaitu *rail* dan *block linear guideways* keduanya adalah saling berpasangan ketika aplikasikan namun kalau secara keseluruhan adalah seperti pada gambar diatas, pada bagian bawah *rail* menempel pada *bed* sedangkan pada bagian *block linear guideways* terbebani oleh *table*. Ketika dioperasikan antara *block linear guideways* dan *rail* adalah saling bergesekan sepanjang *rail* yang tersedia. Namun gesekan yang terjadi adalah sangat kecil sesuai dengan katalog yang digunakan yaitu 1/50 dari *linear* tradisional atau senilai 0,004 efiseiensi geseknya. Untuk mencari gaya gesek yang terjadi pada beban statis adalah dengan menggunakan rumus.

$$F_s = \mu \cdot N \dots\dots\dots (2.2)$$

Dimana :

- F_s = Gaya gesek statis
- μ = Koefisien gesekan statis
- N = Gaya normal

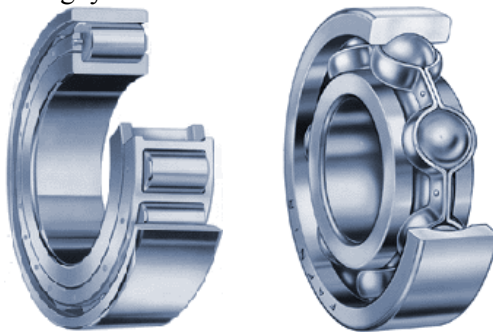
2.2.6 *Bearing* atau Bantalan

Bearing adalah suatu elemen mesin yang menumpu poros berbeban, sehingga putaran atau gerakan bolak-baliknya dapat

berlangsung secara halus, aman, dan berumur panjang. *Bearing* ini harus cukup kokoh untuk menahan beban dari poros yang terhubung dengan komponen mesin lainnya sehingga dapat berputar, bekerja sesuai dengan fungsinya. Jika bantalan tidak berfungsi dengan baik, maka prestasi seluruh sistem akan menurun bahkan bisa terhenti. Bantalan dalam permesinan dapat disamakan perannya dengan pondasi pada gedung.

Untuk bearing dengan jenis bola mempunyai kemampuan untuk putaran tinggi dan gesekan yang kecil. *Bearing* ini bisa mudah didapat dan mudah pula dalam pemasangannya. *Bearing* mempunyai bentuk dan ukuran tertentu sesuai dengan kodenya dan mempunyai ukuran yang presisi. Apalagi untuk yang bentuk bola dengan cincin yang sangat kecil maka besar per satuan luas menjadi sangat penting.

Dengan demikian bahan yang dipakai juga harus mempunyai ketahanan dan kekerasan yang tinggi. Bahan yang biasa dipakai pada pembuatan bearing adalah baja khrom karbon tinggi. *Bearing* ini dapat diklasifikasikan atas *Bearing Radial*, *Bearing axial*. Menurut jenis elemen gelindingnya dibedakan atas bentuk bola dan rol.



Gambar 2.12 Roll Bearing dan Ball Bearing

A. *Ball bearing*

Ball bearing dalam konstruksinya adalah dengan adanya dua celah pada sisi bagian luar dan bagian dalam, pada celah tersebut dipasang beberapa buah ball di dalamnya, pemasangan ball tersebut dilengkapi dengan pegangan yang

dimaksudkan agar ball berjalan sesuai dengan alurnya. Bearing jenis ini biasanya digunakan pada bagian *Super charger impeller shaft*, roda mobil, *landing gear* pada pesawat terbang, dan beberapa bagian engine.

B. *Roller bearing*

Roller bearing dibuat dengan banyak tipe dan bentuk, tetapi yang umum ada dua jenis yaitu : *Straight roller* dan *Tapered Roller bearing*. *Straight roller bearing* hanya dipergunakan pada beban putaran, sedangkan *Tapered roller bearing* pada bagian dalam dan luarnya berbentuk kerucut, jenis ini digunakan untuk menahan bebanpuntiran dan beban tarik.

2.2.7 *Flexible Coupling*

Flexible coupling digunakan sebagai penerus putaran as motor kepada *ballscrew*, sehingga kopling merupakan kompionen mekanik yang dirancang mampu menghubungkan dan melepas / memutuskan perpindahan tenaga dari suatu benda yang berputar ke benda lainnya agar ikut berputar. istilah *flexible* digunakan karena *coupling* tipe ini memang bersifat lentur dan bisa bengkok. Sifat fleksibilitasnya dibutuhkan untuk mengkompensasi *missalignment* antara as motor dan *ballscrew*. Dalam mesin CNC kopling yang dipakai biasanya tergantung sumbu pada mesin tersebut, kalau ada 3 sumbu berarti menggunakan kopling sebanyak 3 buah yang dipasang antara *ballscrew* dan motor penggerak.



Gambar 2.13 Macam-Macam *Flexible Coupling*

2.2.8 *Panel Box*

Pada bagian belakang mesin terdapat *panel* tempat menyimpan perangkat keras mesin tersebut. Panel tersebut berisi kartu pengatur (untuk *spindle*, motor servo, *amplifier*), *relay*, *power suply* dan perangkat elektronik lain.



Gambar 2.14 *Panel Box*

2.3 Elemen Dasar Proses Bubut

Bagi suatu tingkatan proses, ukuran obyektif ditentukan dan pahat harus membuang sebagian material benda kerja sampai ukuran obyektif tersebut dicapai. Ada beberapa aspek teknologi ditinjau dari kecepatan pembuangan geram dapat dipilih supaya waktu pemotongan sesuai dengan yang dikehendaki. Untuk itu perlu dipahami lima elemen dasar proses pemesinan yaitu :

1. Kecepatan Potong (*cutting speed*) ; v (m/min)
2. Kecepatan Makan (*feeding speed*) ; v_f (mm/min)
3. Kedalaman Pemotongan (*depth of cut*) ; a (mm)
4. Waktu Pemotongan (*cutting time*) ; t_c (min), dan
5. Kecepatan Penghasil Geram (MRR) ; Z (cm³/min)

Elemen dasar dari proses bubut dapat diketahui atau dihitung dengan menggunakan rumus yang dapat diturunkan.

1. Kecepatan Potong

$$V = \frac{\pi d n}{1000} ; \text{ m/min} \dots\dots\dots (2.3)$$

2. Kecepatan Makan

$$v_f = f \cdot n ; \text{ mm/min} \dots\dots\dots (2.4)$$

3. Waktu Pemotongan

$$t_c = l / v_f ; \text{ min} \dots\dots\dots (2.5)$$

4. Kecepatan Penghasil Geram (MRR)

$$Z = f \times a \times V_c ; \text{ cm}^3/\text{min} \dots\dots\dots (2.6)$$

Mencari spesifik energi pada proses bubut dengan diketahui.

Tabel 2.1 Spesifik Energi

Material	Hardness		Specific Energy	
	HB	HRC	W · s/mm ³	hp · min/in ³
Steels (all)	85–200		2.1	0.8
		35–40	2.4	0.9
		40–50	2.9	1.1
		50–55	3.2	1.4
		55–58	6.0	2.2
Stainless steels	135–275		2.3	0.8
		30–45	2.5	0.9
Cast irons (all)	110–190		1.3	0.5
	190–320		2.4	0.9
Titanium	250–275		2.1	0.8
Superalloys (Ni and Co)	200–360		4.5	1.6
Aluminum alloys	30–150 (500 kg)		0.5	0.2
Magnesium alloys	40–90 (500 kg)		0.3	0.1
Copper		80 HRB	1.8	0.7
Copper alloys		10–80 HRB	1.2	0.5
		80–100 HRB	1.8	0.7
Zinc alloys			0.3	0.1

*Extrapolated from data in *Machining Data Handbook*, 3d ed., Machinability Data Center, Metcut Research Associates, Cincinnati, Ohio, 1980.

Machining Data Handbook, 3d ed

$$Power = (u) \cdot MRR \dots\dots\dots (2.7)$$

Atau

$$Power = T \cdot \omega \dots\dots\dots (2.8)$$

Dimana :

$$T = F_c \cdot \frac{D}{2} ; \text{ dan } \dots\dots\dots (2.9)$$

$$\omega = 2\pi \cdot n \dots\dots\dots (2.10)$$

Gerak makan yang terjadi pada pahat dan material dapat diperoleh berdasarkan grafik pada gambar. Rekomendasi khusus mengenai parameter proses *turning* untuk berbagai material benda kerja dan *cutting tools* ditunjukkan pada gambar 2.15 Grafik *Machining*.

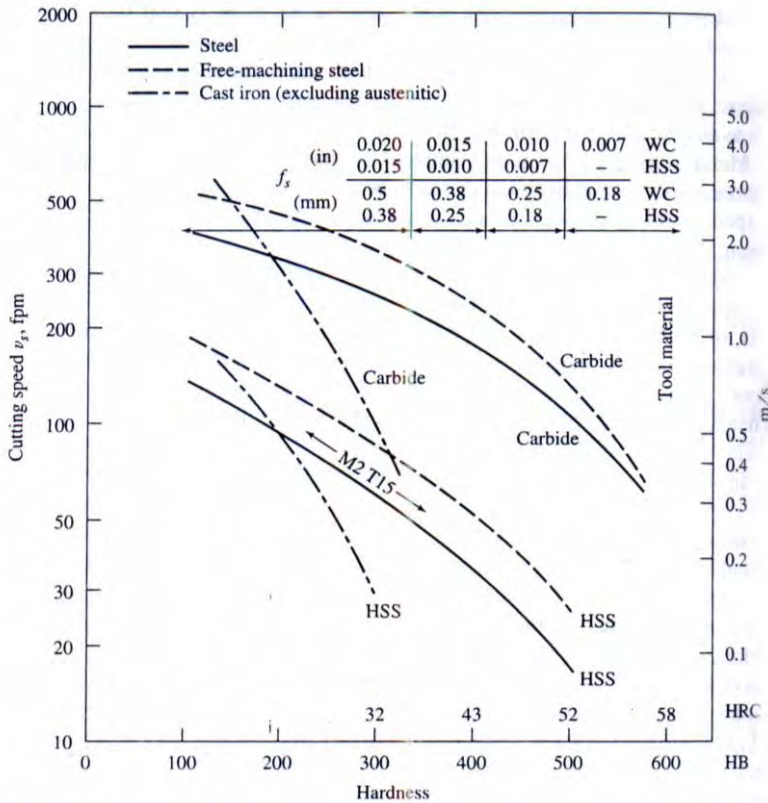


Figure 16-45 Typical speeds and feeds for roughing ferrous materials with a 3.8-mm (0.150-in) depth of cut. Increase speed by 20% for throwaway carbide inserts; reduce speed by 20–30% for austenitic stainless steels and for tool steels containing over 1% carbon.

Gambar 2.15 Grafik *Machining*

Tabel 2.2 *Speeds and feeds in various metal-cutting operations*

Process	Z_v	Depth of Cut, mm	Z_f	Other
Rough turning	1	4	1	
Finish turning	1.2–1.3	0.65	0.5	
Form tools, cutoff	0.7			In-feed $0.1 f - 0.2 f$
Shaping	0.7	4		Feed: HSS, 1.5–0.5 mm WC, 2–1 mm ($\times 2$ on Cu, Al, and Mg)
Planing	0.7	4		
Face milling	1	4	$0.8-1^\dagger$	
Slab milling	1	4	0.5^\dagger	
Side and slot milling	0.5–0.7	4	0.5^\dagger	
End mill, peripheral	1	1.2	$0.5-0.25^\dagger$	For 25-mm-diameter cutter
End mill, slotting	1	1.2	0.2^\dagger	
Threading, tapping	0.5–0.25			Slower for coarser thread

*Extracted from *Matching Data Handbook*, 3d ed., Machinability Data Center, Metcut Research Associates, Cincinnati, Ohio, 1980.

† Feed per tooth.

NOTE: Speed $v = v_s Z_v$ and feed $f = f_s Z_f$; take v_s and f_s from Fig. 16–45 or 16–46.

2.4 Sifat Mekanik

Sifat mekanik adalah salah satu sifat terpenting, karena sifat mekanik menyatakan kemampuan suatu bahan (tentunya juga komponen yang terbuat dari bahan tersebut). Untuk menerima beban atau gaya dan energy tanpa menimbulkan kerusakan pada bahan atau komponen tsb. Seringkali bila suatu bahan mempunyai sifat mekanik yang baik tetapi kurang baik pada sifat yang lain maka diambil langkah untuk mengatasi kekurangan tersebut dengan berbagai cara , misalnya saja baja, baja mempunyai sifat mekanik yang baik (memenuhi syarat untuk suatu pemakaian) tetapi mempunyai sifat tahan korosi yang kurang baik, maka seringkali sifat tahan korosinya ini diperbaiki dengan pengecatan atau galvanishing dll, jadi tidak harus mencari bahan lain yang selain kuat juga tahan korosi.

Sifat-sifat mekanik pada suatu bahan

- Kekuatan (*Strength*) menyatakan kemampuan bahan untuk menerima tegangan tanpa menyebabkan bahan menjadi paatah. Kekuatan ini ada bebarapa macam, tergantung pada jenis bahan

yang akan bekerja, yaitu kekuatan tarik, kekuatan geser, kekuatan tekan, kekuatan torsi dan kekuatan lengkung.

- Kekerasan (*Hardness*) dapat didefinisikan sebagai kemampuan bahan untuk tahan terhadap penggoresan, pengikisan (abrasi), identasi atau penetrasi. Sifat ini berkaitan dengan sifat tahan aus (*wear resistance*). Kekerasan juga mempunyai korelasi dengan kekuatan.
- Kekenyalan (elastisitas) menyatakan kemampuan bahan untuk menerima tegangan tanpa menyebabkan terjadinya perubahan bentuk yang permanen setelah tegangan dihilangkan. Bila suatu benda mengalami tegangan maka akan terjadi perubahan bentuk. Bila tegangan yang bekerja besarnya tidak melewati suatu batas tertentu maka perubahan bentuk yang terjadi hanya bersifat sementara, tetapi bila tegangan yang terjadi melampaui batas tersebut maka sebagian dari perubahan bentuk itu tetap ada walaupun tegangan dihilangkan. Kekenyalan juga menyatakan seberapa banyak perubahan bentuk elastik yang dapat terjadi sebelum perubahan bentuk yang permanen mulai terjadi, dengan kata lain kekenyalan menyatakan kemampuan bahan untuk kembali ke bentuk dan ukuran semula setelah menerima beban yang menimbulkan deformasi.
- Kekakuan (*Stiffness*) menyatakan kemampuan bahan untuk menerima tegangan atau beban tanpa mengakibatkan terjadinya perubahan bentuk (deformasi) atau defleksi. Dalam beberapa hal kekakuan ini lebih penting dari pada kekuatan.
- Plastisitas (*Plasticity*) menyatakan kemampuan bahan untuk mengalami sejumlah deformasi plastic (yang permanen) tanpa mengakibatkan terjadinya kerusakan. Sifat ini sangat diperlukan bagi bahan yang akan diproses dengan berbagai proses pembentukan seperti forging, rolling, extruding, dll. Sifat ini sering juga disebut keuletan (*ductility*).
Bahan yang mampu mengalami deformasi plastic cukup banyak dikatakan sebagai bahan yang mempunyai keuletan tinggi (*ductile*). Sedangkan bahan yang tidak menunjukkan terjadinya deformasi plastic dikatakan sebagai bahan yang mempunyai keuletan rendah atau getas (*Brittle*).
- Ketangguhan (*Toughness*) menyatakan kemampuan bahan untuk

menyerap sejumlah energi tanpa mengakibatkan terjadinya kerusakan. Juga dapat dikatakan sebagai ukuran banyaknya energi yang diperlukan untuk mematahkan suatu benda kerja, pada suatu kondisi tertentu. Sifat ini dipengaruhi oleh banyak faktor sehingga sifat ini sulit diukur.

- Kelelahan (*Fatigue*) merupakan kecenderungan dari logam untuk patah bila menerima tegangan berulang-ulang (*cyclic stress*) yang besarnya masih jauh dibawah batas kekuatan elastisnya. Sebagian besar dari kerusakan yang terjadi pada komponen mesin disebabkan oleh kelelahan. Karenanya kelelahan merupakan sifat yang sangat penting, tetapi sifat ini juga sulit diukur karena banyak faktor yang mempengaruhi.

Merangkak (*Creep*) merupakan kecenderungan suatu logam untuk mengalami deformasi *plastic* yang besarnya merupakan fungsi waktu, pada saat bahan menerima beban yang besarnya relatif tetap.

2.5 Material Yang Digunakan

Dalam pengerjaan tugas akhir ini menggunakan material aluminium sebagai struktur mekanik. Aluminium merupakan logam *non-ferrous* yang paling banyak digunakan di dunia, dengan pemakaian tahunan sekitar 24 juta ton. Aluminium dengan densitas 2.7 g/cm³ sekitar sepertiga dari densitas baja (8.83 g/cm³), tembaga (8.93 g/cm³), atau kuningan (8.53 g/cm³), mempunyai sifat yang unik, yaitu: ringan, kuat, dan tahan terhadap korosi pada lingkungan luas termasuk udara, air (termasuk air garam), petrokimia, dan beberapa sistem kimia.

Dari sifat bahan aluminium yang ringan, kuat dan tahan korosi inilah yang mendasari pemikiran untuk menggunakan material tersebut. Berikut adalah daftar perbandingan kekuatan tarik pada beberapa paduan aluminium.

Tabel 2.3 Perbandingan kekuatan tarik beberapa paduan

Alloy	Ultimate Tensile Strength (UTS), MPA	Densitas(ρ), kg/m ³
Al murni	78	2699
Al-7%Si,T6	210	2685
Al-5%Si-2%,T6	310	2690
Al-9%Si,T6	240	2650
Al-20%Si,T6	200	2650
Besi	1.9	7650
Besi tuang abu-abu	380	7100
Besi tuang lentur	900	7200
Besi tuang <i>austenit ductile</i>	12000	7200
Baja karbon tuang	650	7850
Baja <i>stainless</i> tuang	880	7850

(Sumber :Zulaina Sari Rahmawati, 2010)

2.6 Metode Elemen Hingga

Metode elemen hingga (*Finite Element Analysis*) adalah sebuah metode penyelesaian permasalahan teknik yang menggunakan pendekatan dengan membagi-bagi (diskretisasi) benda yang akan dianalisa kedalam bentuk elemen-elemen yang berhingga yang saling berkaitan satu sama lain.

Permasalahan teknik biasanya mendekati dengan sebuah model matematik yang berbentuk persamaan *differential*. Setiap model matematik tersebut memiliki persamaan-persamaan matematik lainnya yang ditentukan berdasarkan asumsi dan kondisi aktual yang disebut kondisi batas (*boundary condition*).
jenis Analisa FEA

Ada 4 tipe analisa *engineering* yang biasa dilakukan dengan menggunakan bantuan metoda FEA, yaitu :

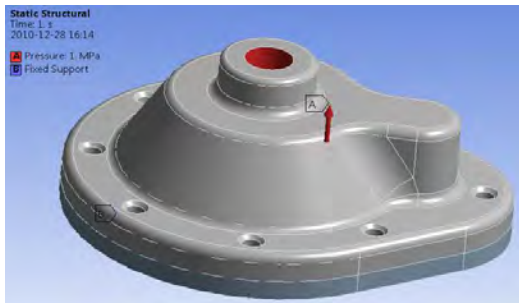
- **Struktural**, terdiri dari model linear dan non-linear. Linear menggunakan parameter yang sederhana dan mengasumsikan bahwa material tidak terdeformasi secara plastis. Non-linear cenderung menekankan pada pemberian beban hingga melampaui kemampuan elastis suatu material. Pada analisa ini umumnya digunakan pembebanan statis, yang bisa berupa beban akibat dari gaya, beban suatu benda, orang, dan berat dari struktur itu sendiri
- **Getaran**, digunakan untuk menguji suatu desain terhadap sebuah getaran acak, beban kejut, dan impact. Masing-masing hal yang disebutkan tersebut 32 bisa terjadi dan mempengaruhi frekuensi natural dari benda, yang akan menyebabkan resonansi, dan pada akhirnya kegagalan.
- **Kelelahan**, analisis ini membantu perancang untuk memprediksikan umur pakai dari suatu benda atau struktur dengan menunjukkan efek dari pembebanan berulang (secara siklus) terhadap rancangan yang terkait. Analisis ini mampu menunjukkan area yang kritis dan memungkinkan terjadi retakan. Kegagalan karena lelah juga mampu menunjukkan toleransi beban yang mampu diterima. Analisa ini umumnya menggunakan pembebanan dinamis, yang mana nilai atau besarnya berubah-ubah seiring berjalannya waktu. Apabila waktu perubahan nilai beban ini cukup lama, maka bisa dianggap sebagai beban statis, namun apabila perubahan berlangsung cukup cepat, aksi / respon dari pembebanan tersebut pasti ditentukan dengan analisa dinamis
- **Perpindahan Panas**, analisis ini menunjukkan dinamika panas fluida atau konduktivitas dari benda atau struktur, Analisa ini bisa berupa sistem kondisi tunak maupun transien. Kondisi tunak mengacu pada properties panas yang konstan pada material yang menghasilkan difusi panas yang linear.

2.6.1 Meshing

- Pembagian model menjadi elemen-elemen yang lebih kecil biasa disebut dengan proses meshing. *Meshing* ini biasa dilakukan sebelum menentukan boundary condition dari sebuah rencana analisa. Semakin kecil nilai meshing semakin kecil pula pembagian elemen pada model sehingga hasilnya semakin akurat dan sebaliknya untuk nilai meshing yang semakin besar maka pembagian elemen pada model hasilnya kurang akurat.
- Meshing adalah bagian penting dari analisa. Karena apabila tidak mendekati meshing buruk, maka akan menghasilkan hasil yang berbeda atau tidak mendekati kondisi aktualnya. Kualitas meshing bisa 0.4, dikatakan sedang jika mempunyai nilai rata-rata 0.5-0.7, dan dikatakan jelek jika mempunyai nilai rata-rata 0.8-1.0, Meshing merupakan representasi dari metode element hingga.

2.6.2 Boundary Condition

- *Boudary condition* merupakan batas kondisi atau batasan batasan yang digunakan pada suatu simulasi. *Boudary condition* pada analisa statik, ditentukan beban – beban yang bekerja pada geometri dan tumpuan apa saja yang akan digunakan pada geonetri tersebut. *Boudary condition* sama penting halnya dengan *meshing*, karena *Boudary condition* menentukan hasil dari simulasi.



Gambar 2.16 Hasil Penentuan *Boundary Condition*

2.7 Kestimbangan Benda Tegar

Sebuah partikel berada dalam kesetimbangan jika dia tetap diam atau bergerak dengan kecepatan tetap. Agar terjadi demikian, maka hal yang perlu dan cukup untuk mensyaratkan bahwa gaya resultan yang bekerja pada partikel harus sama dengan nol. Jadi persamaan kesetimbangan untuk benda tegar :

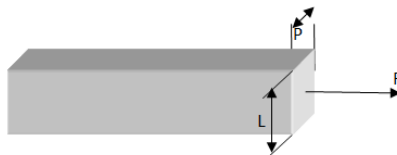
$$\sum F = 0 \text{ (2.11)}$$

$$\sum M = 0 \text{ (2.12)}$$

persamaan tersebut menyatakan bahwa sebuah benda tegar akan berada dalam kesetimbangan asalkan penjumlahan semua gaya eksternal yang bekerja pada benda tersebut sama dengan nol dan jumlah momen-momen gaya eksternal di sekitar suatu titik juga sama dengan nol. (Hibbeler, R. 1998 Mekanika Teknik Statika Jidil 1)

2.8 Tegangan

Tegangan didefinisikan sebagai beban persatuan luasan penampang, dapat terjadi akibat adanya beban tarik/tekan, momen lentur (bending), geser, puntir, dan sebagainya



Gambar 2.17 Tegangan Pada Balok

2.8.1 Tegangan Tarik (*Tensile Stress*)

Apabila sepasang gaya tarik aksial menarik suatu batang, dan akibatnya batang ini cenderung menjadi meregang atau bertambah panjang. Maka gaya tarik aksial tersebut menghasilkan tegangan tarik pada batang di suatu bidang yang terletak tegak lurus atau normal terhadap sumbunya.



Gambar 2.18 Gaya Tarik Aksial

2.8.2 Tegangan Tekan (*Compressive Stress*)

Apabila sepasang gaya tekan aksial mendorong suatu batang, akibatnya batang ini cenderung untuk memperpendek atau menekan batang tersebut. Maka gaya tarik aksial tersebut menghasilkan tegangan tekan pada batang di suatu bidang yang terletak tegak lurus atau normal terhadap sumbunya.



Gambar 2.19 Gaya Tekan Aksial

Intensitas gaya (yakni, gaya per satuan luas) disebut tegangan (*stress*) dengan menganggap bahwa tegangan terdistribusi secara merata pada seluruh penampang batang, maka resultannya sama dengan intensitas σ kali luas penampang A dari batang. Selanjutnya, dari kesetimbangan benda yang diperlihatkan pada Gambar 2.18 besar resultan gayanya sama dengan beban P yang dikenakan, tetapi arahnya berlawanan. Sehingga diperoleh rumus :

$$\sigma = F / A \dots\dots\dots(2.13)$$

Dimana,

- σ = Tegangan (N/m²)
- F = Gaya aksial (N)
- A = Luas (m²)

2.8.3 Tegangan Bending

Tegangan bending dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$\sigma = \frac{M.c}{I} \quad \text{atau} \quad \sigma = \frac{M}{I/c} \dots\dots\dots(2.14)$$

Dimana :

M = momen bending
I/c = modulus penampang

Biasanya rasio I/c dilambangkan dengan Z.

2.8.4 Tegangan Ijin, Faktor Keamanan

Tegangan ijin (*Ultimate stress*) adalah tegangan satuan terbesar suatu bahan yang dapat ditahan tanpa menimbulkan kerusakan. Tegangan ijin (*Allowable stress*) adalah tegangan yang tidak boleh di lampau di bagian manapun dalam struktur.

Faktor keamanan (Safety Factor) adalah faktor yang digunakan untuk mengevaluasi agar elemen mesin terjamin aman dengan dimensi yang minimum atau kecil. Beberapa faktor yang dapat mempengaruhi safety factor, adalah :

- a. Variasi sifat mekanik material
- b. Jenis beban
- c. Pengaruh pengerjaan
- d. Pengaruh perlakuan panas yang diberikan pada material
- e. Pengaruh Pelumasan dan umur pakai dari elemen mesin
- f. Pengaruh waktu dan lingkungan
- g. Untuk penggunaan yang khusus
- h. Keamanan manusia

Safety factor berdasarkan tegangan luluh sebagai berikut (Joseph P Vidosic) :

1. $sf = 1,25 - 1,5$ Untuk bahan yang sesuai dengan menggunakan pada kondisi terkontrol dan tegangan yang bekerja dapat ditentukan dngan pasti.

2. $sf = 1,5 - 2,0$ Untuk bahan yang sudah diketahui, dan pada kondisi lingkungan beban dan tegangan yang tetap dan dapat ditentukan dengan mudah.
3. $sf = 2,0 - 2,5$ Untuk bahan yang beroperasi secara rata-rata dengan batasan beban yang diketahui.
4. $sf = 2,5 - 3,0$ Untuk beban yang diketahui tanpa mengalami tes, pada kondisi beban dan tegangan rata-rata
5. $sf = 3,0 - 3,05$ Untuk beban yang sudah diketahui. Beban dan tegangan yang tidak pasti, dan kondisi lingkungan yang tidak pasti.
6. Beban berulang : Nomor 1 s/d 5
7. Beban kejut : Nomor 3 – 5
8. Beban getas : Nomor 2 – 5 dikalikan dengan 2

Pemberian safety factor dengan menganggap faktor-faktor lain berjalan secara normal (Dobrovolsky) :

1. Beban statis : $sf = 1,25 - 2$
2. Beban statis : $sf = 2,1 - 3$
3. Beban statis : $sf = 3,1 - 5$

$$\text{Tegangan Ijin}(\sigma_{ijin}) = \frac{\text{tegangan luluh}(\sigma_y)}{\text{faktor keamanan}(n)} \dots\dots\dots(2.15)$$

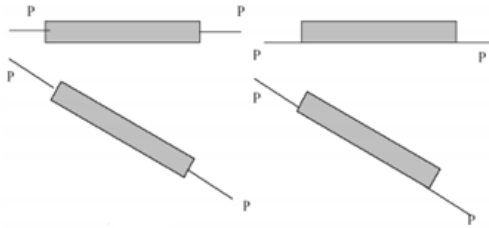
Faktor keamanan (*Factor of safety*) adalah perbandingan dari kekuatan sebenarnya terhadap kekuatan yang dibutuhkan. (Sumber : *web.ipb.ac.id*)

$$\text{Faktor keamanan}(n) = \frac{\text{kekuatan sebenarnya}}{\text{kekuatan yang dibutuhkan}} \dots\dots\dots(2.16)$$

2.9 Perhitungan Gaya

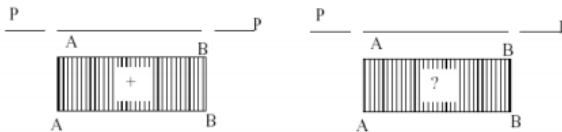
2.9.1 Gaya Normal dan Bidang Gaya Normal (Normal Diagram)

Gaya normal adalah gaya yang garis kerjanya berimpit atau sejajar dengan sumbu batang seperti pada gambar dibawah ini :



Gambar 2.20 Gaya Normal

Bidang gaya normal adalah bidang yang menggambarkan besarnya gaya normal pada setiap titik seperti pada gambar dibawah :

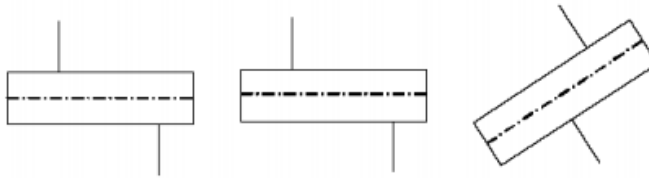


Gambar 2.21 Bidang gaya normal

Bidang gaya normal diberi tanda positif, bila gaya normal yang bekerja adalah “ tarik” dan diarsir tegak lurus dengan batang yang mengalami gaya normal. Sebaliknya, bidang gaya normal yang diberi tanda negatif, bila gaya normal bekerja “tekan” dan diarsir sejajar dengan sumbu batang yang mengalami gaya normal.

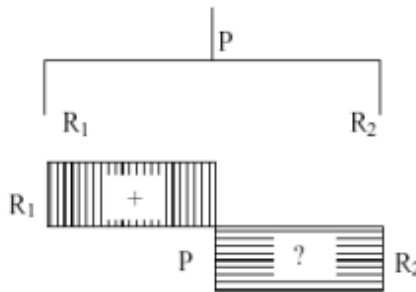
2.9.2 Gaya Melintang dan Bidang Melintang (Shear Force Diagram)

Gaya melintang adalah gaya yang bekerja tegak lurus dengan sumbu batang.



Gambar 2.22 Gaya melintang

Bidang gaya melintang adalah bidang yang menggambarkan besarnya gaya melintang pada setiap titik.



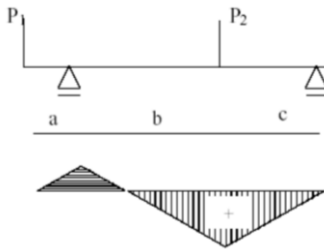
Gambar 2.23 Bidang gaya melintang

Bidang gaya melintang diberi tanda positif, bila perputaran gaya yang bekerja searah dengan putaran jarum jam dan diarsir tegak lurus dengan sumbu batang yang menerima gaya melintang. Sebaliknya bila perputaran gaya yang bekerja berlawanan arah dengan putaran jarum jam diberi tanda negatif dan diarsir sejajar dengan sumbu batang.

2.9.3 Momen dan Bidang Momen (Bending Moment Diagram)

Momen adalah hasil kali antara gaya dengan jaraknya. Jarak disini adalah jarak yang yegak lurus dengan garis kerja gayanya.

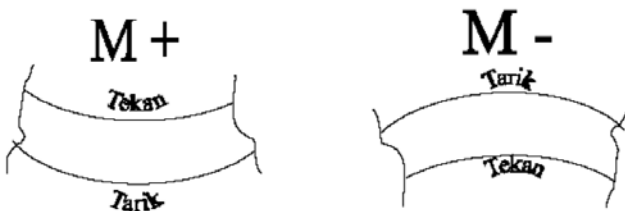
$$M_B = -P_1 \cdot a \text{ dan } M_C = D_V \cdot c$$



Gambar 2.24 Momen

Bidang momen adalah bidang yang menggambarkan besarnya momen pada setiap titik.

Bidang momen diberi tanda positif bila bagian bawah atau bagian dalam yang mengalami tarikan. Bidang momen positif tegak lurus sumbu batang yang mengalami momen.



Gambar 2.25 Bidang momen positif

Sebaliknya, bila yang mengalami tarikan pada bagian atas atau luar bidang momen diberi tanda negatif. Bidang momen negatif diarsir sejajar dengan sumbu batang. Perlu diketahui bahwa momen yang berputar ke kanan belum tentu positif dan momen yang berputar ke kiri belum tentu negatif. Oleh karena itu perhatikan benar-benar perjanjian diatas.

Hubungan Antara Beban, Gaya Geser dan Momen Lentur. Hubungan ini bermanfaat untuk :

- Mencari gaya geser dan momen lentur seluruh arah panjang sebuah balok.
- Menyusun diagram gaya geser dan momen lentur

2.10 Defleksi

Defleksi adalah perubahan bentuk pada balok dalam arah vertikal dan horisontal akibat adanya pembebanan yang diberikan pada balok atau batang. Sumbu sebuah batang akan terdeteksi dari kedudukannya semula bila benda dibawah pengaruh gaya terpakai. Dengan kata lain suatu batang akan mengalami pembebanan transversal baik itu beban terpusat maupun beban terbagi merata akan mengalami defleksi. Dengan Demikian berikut adalah rumus cara menentukan defleksi yang terjadi :

$$\delta = \frac{F.L^3}{E.I.48} \dots\dots\dots (2.17)$$

Dimana :

δ = Defleksi (mm)

F = Gaya (N)

L = Panjang (mm)

E = Modulus Elastisitas (N/m²)

$$I = \text{Momen Inersia (mm}^4\text{)}$$

Hal-hal yang mempengaruhi terjadinya defleksi yaitu :

1. Kekakuan batang

Semakin kaku suatu batang maka lendutan batang yang akan terjadi pada batang akan semakin kecil.

2. Besar kecil gaya yang diberikan

Besar kecilnya gaya yang diberikan pada batang berbanding lurus dengan besarnya defleksi yang terjadi. Dengan kata lain semakin besar beban yang dialami batang maka defleksi yang terjadi pun semakin kecil.

3. Jenis tumpuan yang diberikan

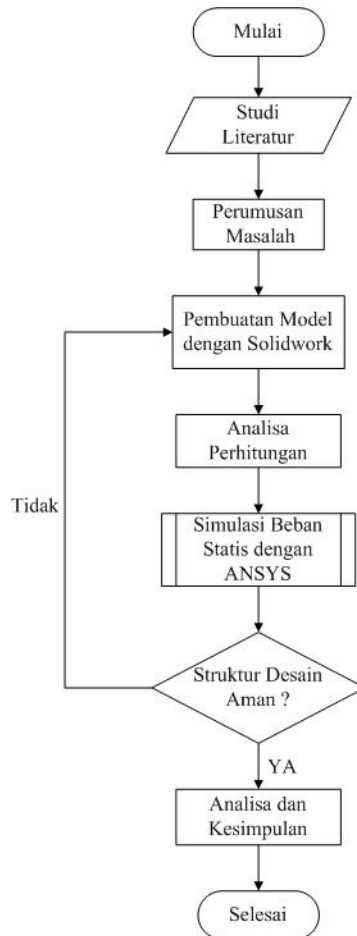
Jumlah reaksi dan arah pada tiap jenis tumpuan berbeda-beda. Jika karena itu besarnya defleksi pada penggunaan tumpuan yang berbeda-beda tidaklah sama. Semakin banyak reaksi dari tumpuan yang melawan gaya dari beban maka defleksi yang terjadi pada tumpuan rol lebih besar dari tumpuan rol lebih besar dari tumpuan pin (pasak) dan defleksi yang terjadi pada tumpuan pin lebih besar dari tumpuan jepit.

4. Jenis beban yang terjadi pada batang

Beban terdistribusi merata beban titik, keduanya memiliki kurva defleksi yang berbeda-beda. Pada beban terdistribusi merata *slope* yang terjadi pada bagian batang yang paling dekat lebih besar dari *slope* titik. Ini karena sepanjang batang mengalami beban sedangkan pada beban titik hanya terjadi pada beban titik tertentu saja.

BAB III METODOLOGI

3.1 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

Proses dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini melalui beberapa tahapan sesuai dengan diagram alir, yaitu sebagai berikut:

3.1.1 Metodologi Desain dan Analisa *Micro Lathe* CNC

1. Studi Literatur

Hal pertama yang dilakukan adalah mencari referensi yang berkaitan dengan *micro lathe CNC* motor servo, desain dan mekanisme gerak, perencanaan elemen mesin.

Untuk memperoleh studi literatur dapat mencari dari berbagai sumber diantaranya adalah buku / text book, diktat mata kuliah yang berkaitan, tugas akhir, dan media internet.

2. Perumusan Masalah

Setelah dilakukan studi literatur, banyak informasi yang didapat. Dengan adanya informasi yang telah didapat, timbul suatu permasalahan. Permasalahan tersebut yaitu bagaimana membuat *desain Micro Lathe CNC Machine* dengan mempertimbangkan bahan meja pada setiap sumbu. Rancang bangun *micro lathe CNC* yang *rigid* dan *smooth* dengan menggunakan aluminium alloy.

3. Pembuatan Model

Setelah perumusan masalah sudah matang dalam menentukan desain mekanik yang digunakan serta aspek yang lainnya selanjutnya yaitu desain alat dengan menggunakan *software solidwork*, dalam mendesain menggunakan *software solidwork* juga harus diperhatikan hal-hal tertentu mengenai design machine.

4. Analisa Perhitungan

Pada tahap ini dilakukan perhitungan pada struktur *Micro Lathe CNC Machine*, yaitu dilakukan perhitungan gaya-gaya yang bekerja pada meja mesin serta perhitungan perencanaan diameter minimal *ball screw*.

5. Simulasi Beban Statis dengan ANSYS

Setelah diketahui parameter yang digunakan untuk simulasi secara numerik, kemudian dilakukan simulasi numerik secara statis menggunakan finite element methode (metode elemen hinga) dengan bantuan software Ansys.

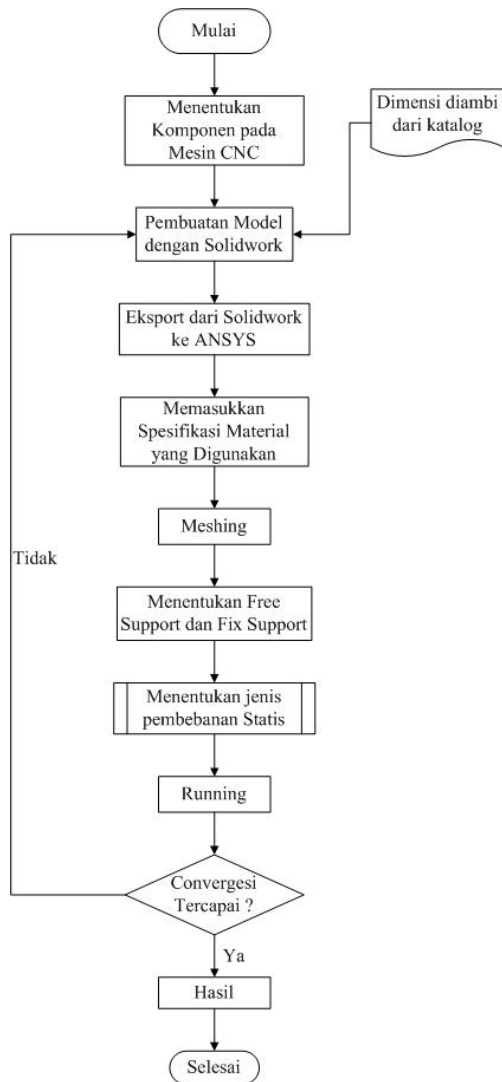
6. Struktur Desain Aman

Desain dikatakan aman apabila pada simulasi dengan ansys tegangan yang terjadi tidak melebihi tegangan materialnya, dengan menggunakan *safety factor* 2.

7. Analisa dan Kesimpulan

Pada tahap ini hasil dari seluruh penelitian akan dianalisa dan nantinya mendapat kesimpulan.

3.2 Diagram Alir Simulasi ANSYS



Gambar 3.2 Diagram Alir Simulasi ANSYS

Diagram alir simulasi dengan ansys dapat dijelaskan sebagai berikut :

1. Menentukan komponen
Tahap ini dilakukan penentuan komponen yang akan dipakai untuk membuat desain *mirco lathe CNC Machine*.
2. Pembuatan Model dengan *Solidwork*
Pada tahap ini dilakukan pemodelan rangka menggunakan *software* yang nantinya akan mendapatkan desain *micro lathe CNC machine*. Pemodelan tersebut dapat mengatasi kesulitan dalam membuat desain produk, dengan ketentuan dimensi komponen yang didapat dari *catalog*.
3. Export dari *Solidwork* ke Ansys
Setelah didapat desain *mirco lathe CNC Machining*, pada tahap ini model tersebut diexport ke Ansys untuk nantinya dianalisa secara numerik.
4. Pemilihan Spesifikasi Material
Setelah dilakukan *fix support* dan *free support*, selanjutnya menentukan material yang dipakai.
5. *Meshing*
Pada tahap ini, *meshing* menentukan pada daerah mana yang didetailkan. Sehingga nantinya pada daerah tersebut dapat diketahui lebih detail pengaruh dari tegangan yang ditimbulkan.
6. Menentukan *fix support* dan *free support*
Pada tahap ini ditentukan *boundary condition* berupa *fix support* dan *free support* dari meja sumbu Z *micro lathe CNC Machine*.
7. Pembebanan statis

Pada tahap ini dilakukan simulasi numerik dengan pembebanan secara statis, yaitu dengan memberikan pembebanan gaya pada daerah tertentu.

8. *Running*

Setelah dilakukan pembebanan kemudian di *running*, sehingga dapat diketahui distribusi tegangan dan regangan maksimum yang terjadi pada meja sumbu Z *mirco lathe CNC Machine*.

9. *Convergensi Tercapai*

Desain dikatakan aman apabila meja sumbu Z mampu menahan beban yang ada tanpa mengalami tegangan berlebih. Dapat diartikan dalam simulasi dengan Ansys.

3.3 Diagram Alir Perencanaan *Ballscrew*



Gambar 3.3 Diagram Alir Perencanaan *Ballscrew*

1. Perhitungan diameter dalam pada *Ball Screw*
Pada tahap ini melakukan perhitungan diameter dalam pada *ball screw*. Diameter *Ball Screw* dapat dihitung dengan menggunakan rumus untuk mencari poros.
2. Merencanakan panjang *Ball Screw*

Pada tahap ini dilakukan perencanaan panjang *Ball Screw* yang akan digunakan sesuai dengan panjang langkah maksimal meja pada mesin CNC.

3. Menyesuaikan dengan Katalog

Untuk mencari diameter luar pada *Ball Screw* maka perhitungan diameter dalam yang didapat ditambah dengan diameter *Ball*, karena pada *Ball Screw* terdapat *groove* yang berbentuk setengah lingkaran. Diameter ball didapatkan dari katalog *Ball Screw*

4. Hasil

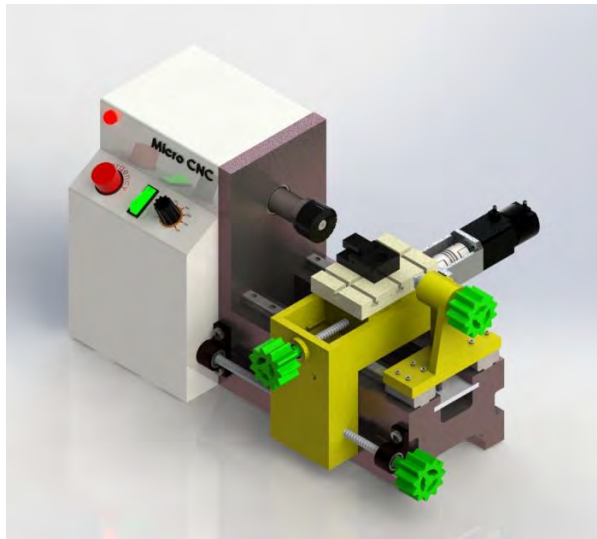
Setelah dilakukan perhitungan dan penyesuaian dengan katalog maka didapat kriteria *Ball Screw* yang harus digunakan sesuai dengan beban yang digerakkan.

BAB IV

PERHITUNGAN DAN ANALISA

4.1 Desain menggunakan software CAD

Dalam proses membuat desain dibahas mengenai permodelan fisik dan kekuatan struktur mekanik. Pada material penyusun, akan dibahas mengenai data awal masing-masing material penyusun antara lain data massa jenis dan kekuatan yeild. Pada desain ini, *software* CAD telah dilengkapi dengan pengukuran *massa* rangka yang dibuat dengan sebelumnya pemilihan material yang digunakan.



Gambar 4.1 Desain *Micro Lathe CNC Machine*

Setelah itu membuat desain dengan menggunakan *software* solidwork dengan dimensi yang sesuai kemudian mencari *massa* setiap komponen pada mesin CNC. Untuk mengetahui

massa pada setiap komponen sebelumnya harus mengetahui spesifikasi material pada komponen tersebut setelah itu melakukan *massa properties*.

4.2 Material yang Digunakan

Dalam merancang stuktur harus terlebih dahulu melakukan pemiliha suatu material yang sesuai dengan kondisi aplikasinya. Untuk pemilihan material tersebut harus mengacu pada sifat fisik dan mekanik suatu material seperti kekuatan, kekerasan dan ketangguhan. Dalam penelitian ini material yang digunakan yaitu Aluminium 6061 T6 dengan spesifikasi sebagai berikut :

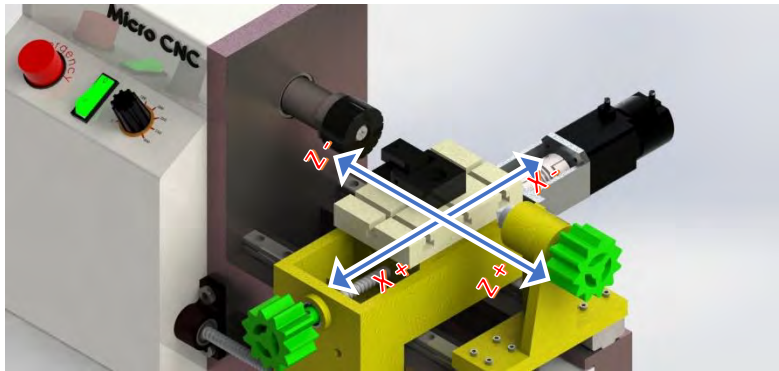
Tabel 4.1 Spesifikasi Material Aluminium 6061 T6

No	Property	Value
1	<i>Density</i>	2,7 g/cm ³
2	<i>Modulus of Elasticity</i>	68,9 Gpa
3	<i>Tensile Stenght, Ultimate</i>	310 Mpa
4	<i>Tensile Strenght, Yield</i>	276 Mpa

Sumber : www.matweb.com

4.3 Jangkauan Gerak Sumbu

Gerakan masing-masing sumbu menyesuaikan dimensi *Micro Lathe CNC*. Gerakan tersebut dilakukan oleh motor servo disalurkan pada kopling dan aktuator penggerak berupa *ballscrew*.



Gambar 4.2 Persumbuan *Micro Lathe CNC Machine*

Tabel 4.2 Jangkauan Sumbu X, Z

No	Koefisien	Nilai	Satuan
1	Sumbu X	60	mm
2	Sumbu Z	25	mm

4.4 Perhitungan Teoritis

Pada tahap ini dilakukan analisa secara teoritis mengenai struktur mekanik pada Mesin *Micro Lathe* diantaranya menghitung putaran *spindle*, gerak makan, kecepatan makan, kecepatan penghasil geram (MRR), gaya potong, kemudian gaya yang bekerja pada mesin dan diteruskan dengan perencanaan diameter minimal *ballscrew* yang dipakai disetiap meja.

4.4.1 Perhitungan Putaran *Spindle*

Diketahui diameter maksimal yang dapat di cekam adalah 6 mm, kecepatan potong diasumsikan $0,1 \text{ m/s}$ karena mengambil dari minimal kecepatan potong yang ada pada gambar 2.15 grafik machining.

$$V_c = 100 \text{ mm/s}$$

$$= 1,667 \text{ mm/min}$$

Selanjutnya, rumus yang digunakan untuk menghitung putaran motor adalah sebagai berikut :

$$n = \frac{1000 \times V_c}{\pi \times d}$$

$$n = \frac{1000 \times 1,667 \frac{\text{mm}}{\text{min}}}{\pi \times 0,6 \text{ mm}}$$

$$n = 884,37 \text{ rpm}$$

Jadi rpm pada motor *spindle* yang digunakan sebesar 884,37 rpm. Sehingga dalam perencanaan mesin *micro lathe CNC* ini menggunakan motor *spindle* dengan 3000 rpm, karena menyesuaikan mesin *micro lathe* yang sudah pernah dibuat dan menyesuaikan yang tersedia dipasaran.

4.4.2 Perhitungan Gerak Makan

Dalam menghitung gerak makan yang terjadi pada pahat dan material dapat diperoleh berdasarkan Gambar 2.15 grafik *machining*. Dengan mengasumsikan pahat HSS dan jenis material benda kerja adalah AISI 1040 dengan *hardness* 149 BHN , sehingga diperoleh (f_s) \approx 0,18 mm/rev.

Sedangkan perumusan gerak makan adalah :

$$f = f_s \times Z_f$$

sedangkan Z_f diperoleh dari Tabel 2.2 *Speeds and feeds in various metal-cutting operations*. Dengan mengasumsikan proses yang dilakukan adalah *rough turning*, dan untuk proses yang menggunakan pahat HSS diperoleh $Z_f = 1$. Sehingga,

$$f = f_s \times Z_f$$

$$f = 0,18 \frac{\text{mm}}{\text{rev}} \times 1$$

$$f = 0,18 \frac{mm}{rev}$$

4.4.3 Perhitungan Kecepatan Makan

Dalam menghitung kecepatan makan dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$V_f = f \times n$$

$$V_f = 0,18 \frac{mm}{rev} \times 3000 \text{ rpm}$$

$$V_f = 540 \frac{mm}{min}$$

4.4.4 Perhitungan Kecepatan Penghasil Geram (MRR)

Perhitungan kecepatan penghasil geram (MRR) dapat di rumuskan sebagai berikut :

$$Z = f \times a \times V_c$$

Dimana,

a = kedalaman pemotongan yang diperoleh dari tabel diatas,

(untuk *rough turning* maksimal $a = 4 \text{ mm}$, maka a diasumsikan 1 mm).

$$Z = f \times a \times V_c$$

$$Z = 0,18 \frac{mm}{rev} \times 1 \text{ mm} \times 1000 \frac{mm}{s}$$

$$Z = 180 \frac{mm^3}{s}$$

4.4.5 Perhitungan Gaya Potong (Fc)

Diasumsikan material benda kerja adalah AISI 1040, dengan melihat tabel diketahui energi spesifik bubut sebesar 2,1 W.s/mm³ untuk menghitung power.

$$\text{Power} = (u) \cdot \text{MRR}$$

$$= 2,1 \text{ W.s/mm}^3 \times 180 \frac{\text{mm}^3}{\text{s}}$$

$$= 378 \text{ W}$$

Dimana,

$$1 \text{ W} = 1 \text{ N.m/s} = 60 \text{ N.m/min}$$

$$\text{Power} = 378 \text{ W} \times 60 = 22680 \text{ N.m/min}$$

Setelah power yang dibutuhkan diketahui kemudian menghitung gaya potong pada proses bubut.

$$\text{Power} = T \cdot \omega$$

$$= (F_c \cdot D/2) (2\pi N)$$

$$22680 \text{ N.m/min} = (F_c) \cdot \frac{6\text{mm}}{2} \cdot (3000 \text{ rpm}) \cdot \left(\frac{1 \text{ m}}{1000 \text{ mm}}\right)$$

$$22680 \text{ N.m/min} = 9 \frac{\text{m}}{\text{min}} (F_c)$$

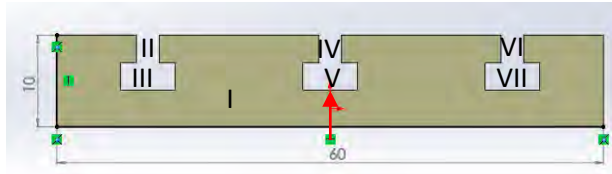
$$F_c = \frac{22680 \text{ N.m/min}}{9 \text{ m/min}}$$

$$\mathbf{F_c = 2520 \text{ N}}$$

Berdasarkan dari hasil perhitungan diatas gaya potong (F_c) didapat 2520 N.

4.5 Menentukan Titik Berat

Menentukan Titik Berat Pada Meja Toolpost



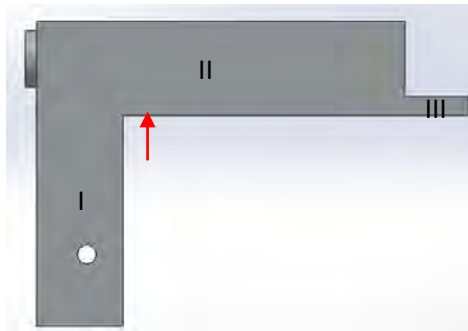
$$X_n = \frac{A_1.X_1 - A_2.X_2 - A_3.X_3 - A_4.X_4 - A_5.X_5 - A_6.X_6 - A_7.X_7}{A_1 - A_2 - A_3 - A_4 - A_5 - A_6 - A_7}$$

$$X_n = \frac{(60.40).30 - (2,5.3).10 - (3.6).10 - (2,5.3).30 - (3.6).30 - (2,5.3).50 - (3.6).50}{(60.40) - (2,5.3) - (3.6) - (2,5.3) - (3.6) - (2,5.3)}$$

$$X_n = \frac{69705}{2323,5}$$

$$X_n = 30\text{mm}$$

Menentukan Titik Berat Pada Sumbu Z

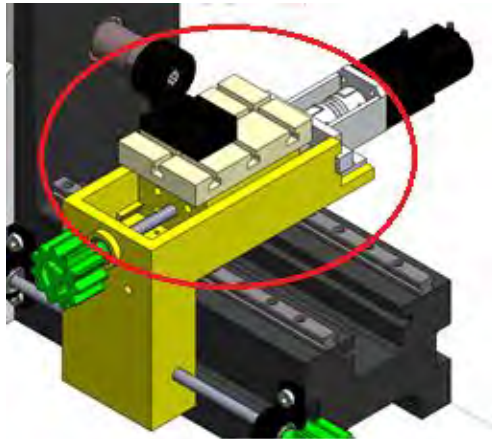


$$X_n = \frac{A_1.X_1 + A_2.X_2 + A_3.X_3}{A_1 + A_2 + A_3}$$

$$X_n = \frac{(56.23).11,5 + (98.25).49 + (17.5)5}{(56.28) + (98.25) + (17.5)}$$

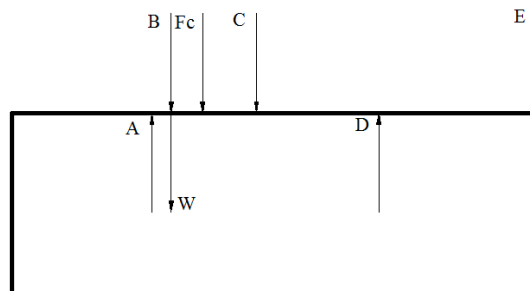
$$X_n = 35,12 \text{ mm}$$

4.6 Reaksi Gaya Pada Sumbu Z



Gambar 4.3 Posisi Perautan meja sumbu Z

Pada gambar 4.3 diatas dapat digambarkan diagram benda bebas meja sumbu z



Gambar 4.4 Diagram Benda Bebas Meja Sumbu Z

Tabel 4.3 Total Massa Komponen Pada Meja Sumbu X

No	Nama Part	Jumlah	Massa (kg)	Keterangan
1	Meja Sumbu X	1	0,05	Solidwork
2	Meja Tool Post	1	0,05	Solidwork
3	Tool Post	1	0,01	Solidwork
Jumlah			0,11	

Tabel 4.4 Total Massa Komponen Pada Meja Sumbu Z

No	Nama Part	Jumlah	Massa (kg)	Keterangan
1	Meja Sumbu Z	1	0,19	Solidwork
2	Bearing	2	0,005	Katalog
3	Handwheel	1	0.005	Solidwork
Jumlah			0,2	
4	Flange Motor	1	0,02	Solidwork
5	Coupling	1	0,09	Katalog
6	Motor Servo	1	0,2	Katalog
Jumlah			0,31	

Pada titik B terdapat gaya berat toolpost dan gaya berat meja sumbu Z.

Pada Tabel 4.3 didapat gaya berat pada Toolpost

$$\begin{aligned}
 W_{\text{toolpost}} &= 0,1\text{kg} \times 9,18 \text{ m/s} \\
 &= 0,0981 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 W_{\text{sumbu z}} &= 0,2 \text{ kg} \times 9,81 \text{ m/s} \\
 &= 1,96 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Jadi,

$$W_B = W_{\text{toolpost}} + W_{\text{sumbu z}}$$

$$= 0,0981 \text{ N} + 1,96 \text{ N}$$

$$= \mathbf{2,052 \text{ N}}$$

Pada proses perautan terjadi gaya potong sebesar :

$$\mathbf{F_c = 2520 \text{ N}}$$

Pada titik C terdapat gaya berat meja sumbu x dan gaya berat meja toolpost

Pada Tabel 4.3 didapat gaya berat pada meja sumbu x dan gaya berat meja toolpost

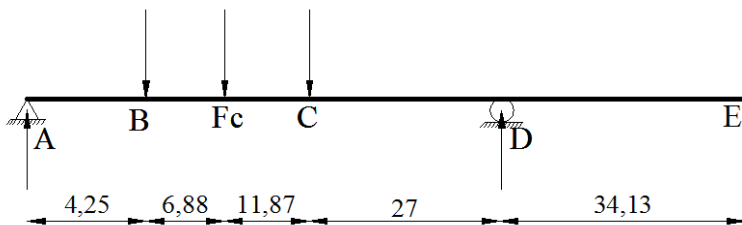
$$W_C = 0,1 \text{ kg} \times 9,81 \text{ m/s}$$

$$= \mathbf{0,981 \text{ N}}$$

Pada titik E terdapat gaya berat motor

$$W_E = 0,31 \text{ kg} \times 9,81 \text{ m/s}$$

$$= \mathbf{3,038 \text{ N}}$$



Gambar 4.5 Diagram Benda Bebas Meja Sumbu Z

$$+\uparrow \sum F_y = 0$$

$$A + D - B - F_c - C - E = 0$$

$$A + D - 2,025N - 2520N - 0,98N - 3,038N = 0$$

$$A + D = 2,025N + 2520N + 0,98N + 3,038N$$

$$A + D = 2526,07 \text{ N}$$

$$+\sum M_A = 0$$

$$B(4,25\text{mm}) + F_c(11,13\text{mm}) + C(23\text{mm}) - D(50) + E(84,13\text{mm}) = 0$$

$$D = \frac{2,052N(4,25\text{mm}) + 2520N(11,13) + 0,98N(23\text{mm}) + 3,038N(84,13)}{50\text{mm}}$$

$$D = \frac{8,721\text{Nmm} + 28476\text{Nmm} + 22,54\text{Nmm} + 255,58\text{Nmm}}{50\text{mm}}$$

$$D = 575,2 \text{ N}$$

D telah diketahui besarnya maka persamaan 4.3 bisa di substitusikan ke persamaan 4.4 menjadi :

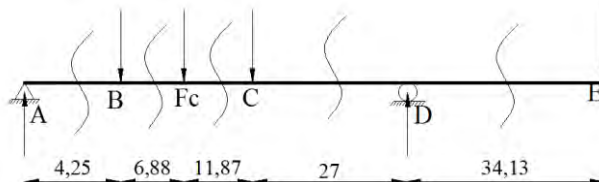
$$A + D = 2526,07 \text{ N}$$

$$A + 575,2 \text{ N} = 2526,07 \text{ N}$$

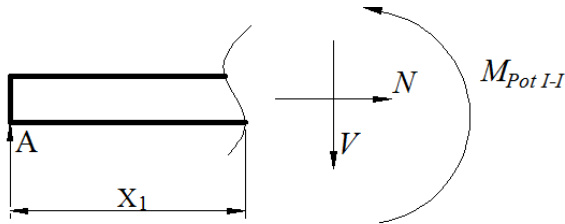
$$A = 2526,07\text{N} - 575,2\text{N}$$

$$A = 1950,8 \text{ N}$$

Mencari Diagram Gaya Geser dan Diagram Momen



Gambar 4.6 Diagram Benda Bebas Potongan



Gambar 4.7 Diagram Benda Bebas Potongan I-I

Potongan I-I

$$0 \leq x_1 \leq 4,25$$

$$\uparrow + \sum F_y = 0$$

$$-A + V = 0$$

$$-1950,8 \text{ N} + V_1 = 0$$

$$V_1 = 1950,8 \text{ N}$$

$$\curvearrowright + \sum M_{pot \ I-I} = 0$$

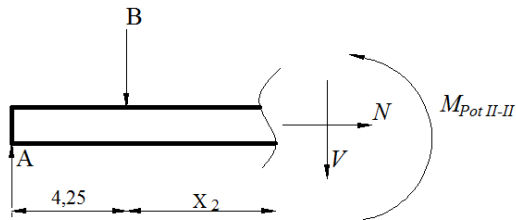
$$-A(x_1) + M_{pot \ I-I} = 0$$

$$-1950,8 \text{ N} (x_1) + M_{pot \ I-I} = 0$$

$$M_{pot \ I-I} = 1950,8 \text{ N} (x_1)$$

$$x_1 = 0 \quad \longrightarrow \quad M_1 = 0$$

$$x_1 = 4,25 \quad \longrightarrow \quad M_1 = 8290,9 \text{ Nmm}$$



Gambar 4.8 Diagram Benda Bebas Potongan II-II

Potongan II-II

$$0 \leq X_2 \leq 6,88$$

$$\uparrow + \sum F_y = 0$$

$$-A + B + V_2 = 0$$

$$-1950,8 \text{ N} + 2,052 \text{ N} + V_2 = 0$$

$$V_2 = 1950,8 \text{ N} - 2,052 \text{ N}$$

$$V_2 = 1948,7 \text{ N}$$

$$\curvearrowright + \sum M_{\text{pot II-II}} = 0$$

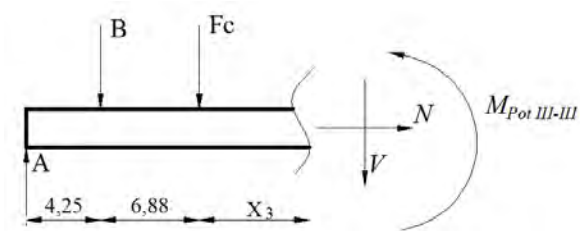
$$-A(4,25 \text{ mm} + x_2) + B(x_2) + M_{\text{pot II-II}} = 0$$

$$M_{\text{pot II-II}} = A(4,25 \text{ mm} + x_2) - B(x_2)$$

$$M_{\text{pot II-II}} = 1950,8 \text{ N} (4,25 \text{ mm} + x_2) - 2,052 \text{ N} (x_2)$$

$$X_2 = 0 \quad \longrightarrow \quad M_2 = 8290,9 \text{ Nmm}$$

$$X_2 = 6,88 \quad \longrightarrow \quad M_2 = 21698,29 \text{ Nmm}$$



Gambar 4.9 Diagram Benda Bebas Potongan III-III

Potongan III-III

$$0 \leq x_3 \leq 11,87$$

$$\uparrow + \sum F_y = 0$$

$$-A + B + F_c + V = 0$$

$$-1950,8N + 2,052N + 2520N + V = 0$$

$$V = 1950,8N - 2,052N - 2520N$$

$$V = -571,252$$

$$\curvearrowright + \sum M_{pot \text{ III-III}} = 0$$

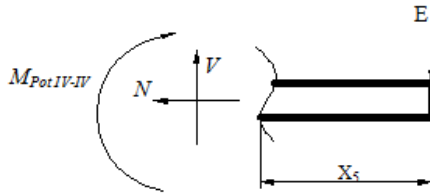
$$-A(11,13\text{mm} + x_3) + B(6,88\text{mm} + x_3) + F_c(x_3) + M_{pot \text{ III-III}} = 0$$

$$-1950,8N(11,13\text{mm} + x_3) + 2,052N(6,88\text{mm} + x_3) + 2520N(x_3) + M_{pot \text{ III-III}} = 0$$

$$M_{pot \text{ III-III}} = 1950,8N(11,13\text{mm} + x_3) - 2,052N(6,88\text{mm} + x_3) - 2520N(x_3)$$

$$X_3 = 0 \quad \longrightarrow \quad M_3 = 21698,29 \text{ Nmm}$$

$$X_3 = 11,87 \quad \longrightarrow \quad M_3 = 14917,12 \text{ Nmm}$$



Gambar 4.10 Diagram Benda Bebas Potongan IV-IV
Potongan IV-IV

$$0 \leq X_4 \leq 34,13$$

$$\uparrow + \sum F_y = 0$$

$$-E + V = 0$$

$$-3,038N + V = 0$$

$$V = 3,038N$$

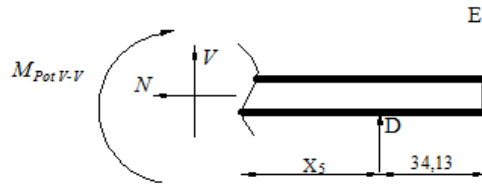
$$\curvearrowright + \sum M_{pot \text{ IV-IV}} = 0$$

$$E(x_4) + M_{pot \text{ IV-IV}} = 0$$

$$3,038N(x_4) + M_{pot \text{ IV-IV}} = 0$$

$$M_{pot \text{ IV-IV}} = -3,038N(x_4)$$

$X_4 = 0$	\longrightarrow	$M_4 = 0 \text{ Nmm}$
$X_4 = 34,13$	\longrightarrow	$M_4 = 103,686 \text{ Nmm}$



Gambar 4.11 Diagram Benda Bebas Potongan V-V

Potongan V-V

$$0 \leq X_5 \leq 27$$

$$\uparrow + \sum F_y = 0$$

$$-E + D + V = 0$$

$$-3,038\text{N} + 575,2\text{N} + V = 0$$

$$V = 3,038\text{N} - 575,2\text{N}$$

$$V = -572,162\text{N}$$

$$+\sum M_{pot \ V-V} = 0$$

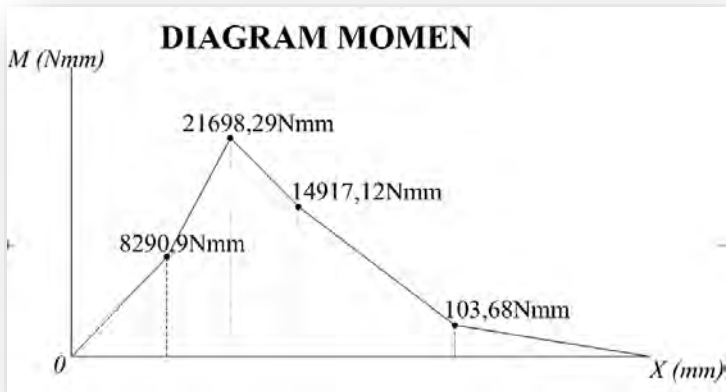
$$E(34,13\text{mm} + x_5) - D(x_5) + M_{pot \ V-V} = 0$$

$$3,038\text{N}(34,13\text{mm} + x_5) - 575,2\text{N}(x_5) + M_{pot \ V-V} = 0$$

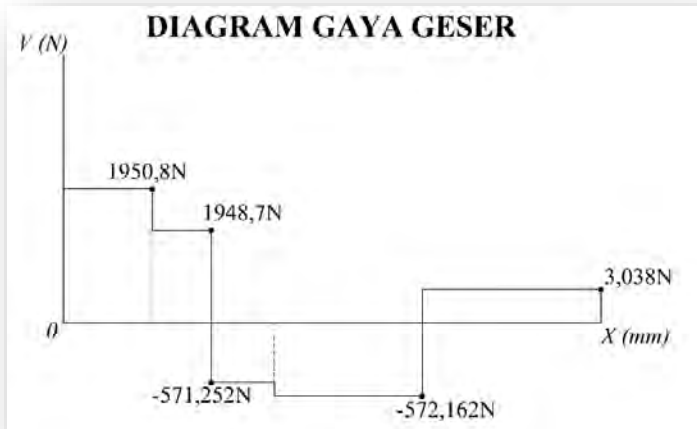
$$M_{pot \ V-V} = 575,2\text{N}(x_5) - 3,038\text{N}(34,13\text{mm} + x_5)$$

$$X_5 = 0 \quad \longrightarrow \quad M_3 = 103,686 \text{ Nmm}$$

$$X_5 = 27 \quad \longrightarrow \quad M_3 = 15344,6 \text{ Nmm}$$



Gambar 4.12 Diagram Momen



Gambar 4.13 Diagram Gaya Geser

Mencari Tegangan pada Meja Sumbu Z

$$\sigma_{max} = \frac{M_B \cdot C}{I}$$

Berdasarkan rumus diatas perlu dihitung Inersia penampang meja sumbu X memakai rumus :

$$I = \frac{b \cdot h^3}{12}$$

$$I = \frac{46 \cdot 25^3}{12}$$

$$I = 59,8 \times 10^3 \text{ mm}^4$$

Sehingga,

$$\begin{aligned}\sigma_{max} &= \frac{M_B \cdot C}{I} \\ \sigma_{max} &= \frac{21698,29 \text{ Nmm} \cdot 12 \text{ mm}}{59,8 \times 10^3 \text{ mm}^4} \\ \sigma_{max} &= 4,354 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \\ \sigma_{max} &= 4,354 \text{ MPa}\end{aligned}$$

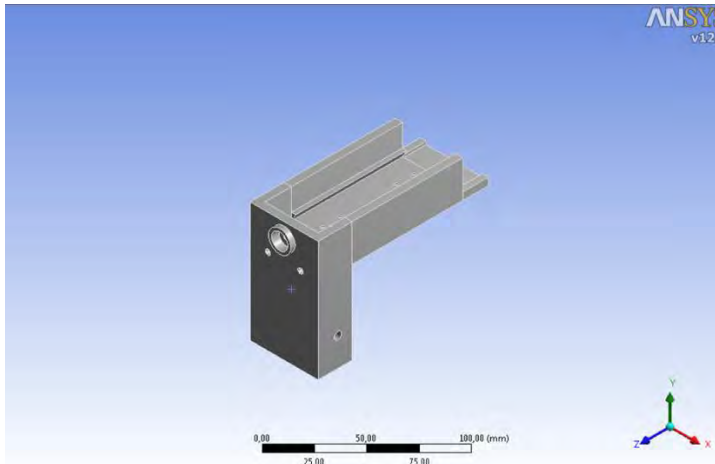
Berdasar dari hasil perhitungan diatas tegangan maksimal (σ_{max}) didapat 4,354 Mpa.

4.7 Perhitungan Menggunakan Metode Elemen Hingga

Pada tahap ini dilakukan analisa secara keseluruhan dari pemodelan elemen hingga yang merupakan hasil *running* desain *Micro Lathe CNC*. Pada simulasi ini akan didapatkan besar tegangan dan distribusi tegangan yang terjadi.

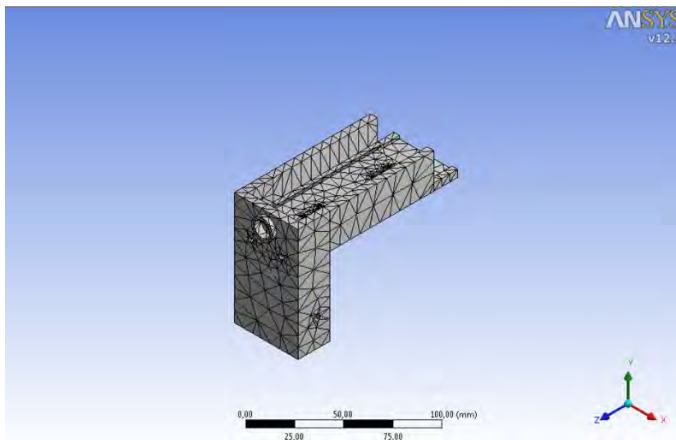
4.7.1 Analisa Numerik Pada Meja Sumbu Z

Hal pertama yang dilakukan adalah mengimport part meja sumbu Z yang telah dibuat memakai *software solidwork* ke dalam *software ANSYS*.



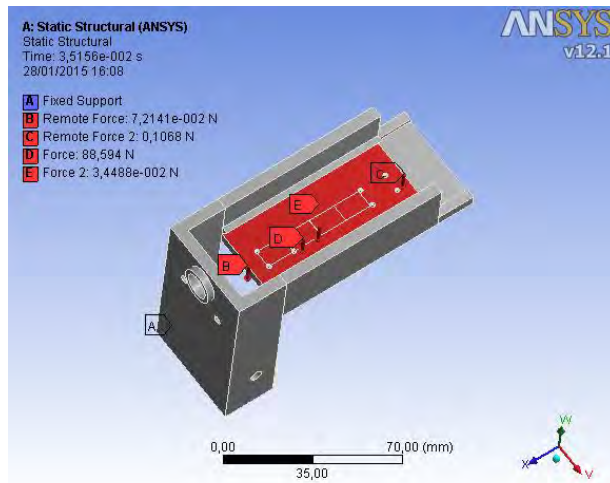
Gambar 4.14 Model Support CNC pada Ansys

Selanjutnya dilakukan proses meshing. Meshing ini dilakukan sebelum menentukan *boundary condition* dari sebuah rencana analisa. Dari Hasil Meshing pada gambar 4.14 Hasil Meshing CNC.



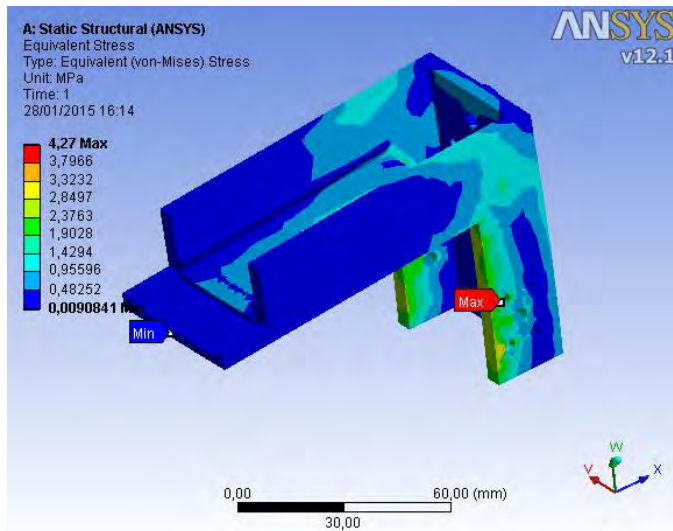
Gambar 4.15 Hasil Meshing CNC

Selanjutnya *boundary condition* yang terdiri dari fix support dan free support. Pada Fix Support menggunakan bagian bawah meja yang bersentuhan dengan *block linier guideways* dan free support terdapat dipermukaan meja. Pada meja sumbu Z terdapat 4 gaya yang diberikan, yaitu $B=2,052\text{N}$, $F_c=2520\text{N}$, $C=0,981\text{N}$, $E=3,038\text{N}$.



Gambar 4.16 Pemberian Pembebanan gaya dengan *Pressure Force*

Setelah *boundary condition* ditentukan selanjutnya yaitu menganalisa hasil tegangan yang terjadi untuk mengetahui tingkat keamanan dari meja sumbu Z.



Gambar 4.17 Tegangan pada Meja Sumbu X

Dari hasil analisa yang telah dilakukan didapat tegangan maksimum yang terjadi sebesar 4,27 Mpa.

4.7.2 Tegangan Ijin pada Meja Sumbu Z

Tabel 4.5 Tegangan Yang Terjadi

No	Metode	Tegangan yang terjadi
1	Perhitungan Manual	4,354 MPa
2	Elemen Hingga	4,27 MPa

$$Tegangan\ Ijin(\sigma_{ijin}) \geq Tegangan\ Yang\ Terjadi$$

$$\frac{tegangan\ luluh(\sigma_y)}{faktor\ keamanan(SF)} \geq Tegangan\ Yang\ Terjadi$$

- Perhitungan Teoritis

$$\frac{276\ MPa}{2} \geq 4,354\ MPa$$

- Elemen Hingga

$$\frac{276 \text{ MPa}}{2} \geq 4,27 \text{ MPa}$$

4.8 Perencanaan Ulir Penggerak Pada *Micro Lathe CNC*

Pada *micro Lathe CNC machine* terdapat dua ulir penggerak (*ballscrew*) untuk menggerakkan meja sumbu X dan meja sumbu Z.

4.8.1 Perencanaan Ulir Penggerak pada Sumbu X

Untuk pemilihan perencanaan ulir penggerak *ballscrew* mengacu pada diameter dalam pada *ballscrew*. Menghitung diameter poros dengan diketahui material *ballscrew* 4150 Steel dengan *yield strength* 740 Mpa.

$$d \geq \sqrt{\frac{4F \cdot sf}{\pi \sigma_{yp}}}$$

$$d \geq \sqrt{\frac{4 \cdot 1261,618 \text{ N} \cdot 2}{\pi \cdot 740 \text{ N/mm}^2}}$$

$$d \geq \sqrt{4,341 \text{ mm}^2}$$

$$d \geq 2,08 \text{ mm}$$

Dari perhitungan diatas didapat diameter minimal sebesar 2,08 mm. Sehingga dari tabel *ballscrew* diameter minimal yang digunakan pada meja sumbu X adalah 5mm ditunjukkan pada lampiran 2.

4.8.2 Perencanaan Ulir Penggerak pada Sumbu Z

Untuk pemilihan perencanaan ulir penggerak *ballscrew* mengacu pada diameter dalam pada *ballscrew*. Menghitung

diameter poros dengan diketahui material *ballscrew* 4150 Steel dengan *yield strength* 740 Mpa.

$$d \geq \sqrt{\frac{4F \cdot sf}{\pi \sigma_{yp}}}$$

$$d \geq \sqrt{\frac{4 \cdot 1367,864 \text{ N} \cdot 2}{\pi \cdot 740 \text{ N/mm}^2}}$$

$$d \geq \sqrt{4,707 \text{ mm}^2}$$

$$d \geq 2,16 \text{ mm}$$

Dari perhitungan diatas didapat diameter minimal sebesar 2,16 mm. Sehingga dari tabel *ballscrew* diameter minimal yang digunakan pada meja sumbu X adalah 5mm ditunjukkan pada lampiran 2.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

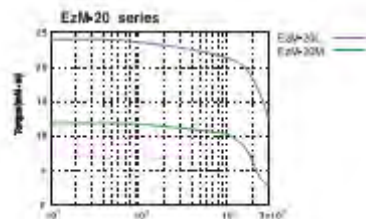
Dari hasil dan analisa yang telah dilakukan, disimpulkan bahwa:

1. Didapat gaya potong pada mesin dengan putaran *spindle* maksimal mesin yaitu 3000 rpm, kedalaman pemotongan 1 mm dan kecepatan makannya 540 mm/min sebesar 2520 N.
2. Didapat hasil tegangan maksimum yang terjadi dari perhitungan manual meja sumbu Z sebesar 4,354 N/mm². Dan hasil analisa numerik sebesar 4,27 N/mm², dikarenakan terdapat banyak lubang yang menyebabkan konsentrasi tegangan. Dari kedua hasil tersebut menunjukkan hasil yang aman untuk digunakan karena tegangan yang terjadi lebih kecil dari *yeild strength* sebesar 276 N/mm².
3. Didapatkan perencanaan diameter penggerak mekanis (*ballscrew*) yang digunakan pada meja sumbu X diameter 5 mm, dan pada meja sumbu Z diameter 5 mm.

5.2 Saran

1. Sebaiknya dilakukan analisa terhadap komponen struktur mekanik yang lain mengenai sambungan pada desain.
2. Analisa lebih detail mengenai perencanaan getaran yang terjadi.

Halaman sengaja dikosongkan



Lampiran 2

Screw Assemblies

Overview

- Smooth and efficient
- Wide selection of leads available
- Small envelope
- Designed for a cost effective solution



Material

Item	Material	Heat Processing	Hardness
Screw Shaft	4150 Steel	Induction Hardened	HRC 58-62
Nut	4150 Steel	Carburized	HRC 58-62

Screw Length Availability

Shaft Diameter	Maximum Length
4 mm	100 mm
5 mm	222 mm
6 mm	265 mm
8 mm	360 mm
10 mm	355 mm
12 mm	395 mm
13 mm	700 mm
14 mm	445 mm

Lampiran 3

Miniature Rolled Ball Screws — Metric Series

4mm to 14mm Diameter, Lead Accuracy: $\pm 52\mu\text{m}/300\text{mm}$



Type A



Type B

Non-Preloaded, Rolled Ball Screw Assemblies

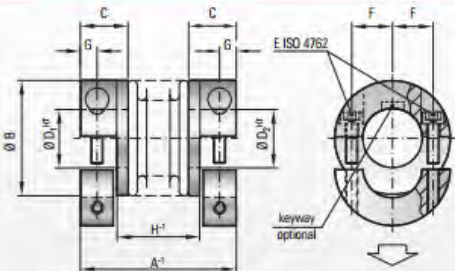
- Cost-effective solution in a small envelope, ideal for use in small spaces
- Clearance held to max .02mm
- Two nut styles (Type A & B) provide optimum performance in low and high lead assemblies

Nominal Diameter (size)	Lead	Nut Type	Ball Screw and Nut Assembly P/N*	Suggested Bearing Size	Performance Data						
					Dynamic Load Capacity		Static Load Capacity		Max. Axial Backlash	Minor Diameter	Max. Length
(mm)	(mm)			(mm)	(kN)	(lbf)	(kN)	(lbf)	(mm)	(mm)	(mm)
4	1	B	PRM0401	N/A	0.6	126	0.8	178	0.02	3.3	100
5	4	B	PRM0504	N/A	0.5	106	0.7	162	0.02	4.3	220
6	1	B	PRM0601	4	0.7	153	1.2	270	0.02	5.3	265
6	6	A	PRM0606	4	0.9	196	1.5	326	0.02	5.2	265
8	1	B	PRM0801	6	0.8	175	1.7	371	0.02	7.3	360
8	2	B	PRM0802	6	2.4	540	4.1	922	0.02	6.6	360
8	5	B	PRM0805	6	1.9	416	3.0	674	0.02	6.6	360
8	8	A	PRM0808	6	2.2	495	3.8	854	0.02	6.7	360
8	12	A	PRM0812	6	2.2	495	4.0	899	0.02	6.7	360
10	2	B	PRM1002	6	2.7	607	5.3	1,191	0.02	8.6	355
10	10	A	PRM1010	6	3.3	742	5.9	1,316	0.02	8.4	405
10	15	A	PRM1015	6	3.3	742	6.4	1,439	0.02	8.4	405
10	20	A	PRM1020	6	2.1	472	4.0	869	0.02	8.7	405
12	2	B	PRM1202	8	3.0	674	6.4	1,439	0.02	10.6	395
13	12	A	PRM1312	8	5.0	1,124	9.9	2,226	0.02	11.0	700
13	20	A	PRM1320	8	5.0	1,124	10.7	2,405	0.02	11.0	700
14	2	B	PRM1402	8	3.2	719	7.5	1,686	0.02	12.6	445
14	4	B	PRM1404	8	5.7	1,281	11.6	2,608	0.02	11.8	445

(*) All Miniature Rolled product is sold in matched sets as ball screw and nut assemblies. Please contact factory for sizes not listed.

Modul $\mu = 1 \text{ kgf} = 9.81 \text{ N}$

Lampiran 5



Ordering example

MKH / 20 / 35 / Ø / 10 / XX

Model

Series


Overall length

Bore Ø D1 H7

Bore Ø D2 H7

Non standard e.g., stainless steel

MKH / 20 / 35 / Ø / 10 / XX



with fully split hubs

Features:

- for lateral mounting
- easy mounting and dismounting
- lightweight and low inertia
- suited for pre-aligned shafts

Material:

Bellows made from highly flexible, high grade stainless steel, hubs made from aluminum

Design:

With fully removable split hubs and 2x ISO 4762 clamping screws per hub

Temperature range:

-30 to +110° C (-22 to +212° F)

Speeds: Up to 10,000 rpm; in excess of 10,000 rpm with finely balanced version (up to G = 7.5)

Service life:

Maintenance free with infinite life when operated within the technical specifications

Brief overloads:

Acceptable up to 1.5x the rated torque

Fit tolerance:

Overall clearance between hub and shaft: 0.01-0.05 mm

Non standard applications:

Custom designs with various tolerances, keyways, materials, dimensions, etc., available upon request

Model MKH	Series																
	5			10			15			20			45			100	
Rated torque (Nm)	0.5			1.0			1.5			2.0			4.5			10	
Overall length (mm)	A ¹ 25 28 31			27 30 33			30 35			35 40 44			46 54			50 60	
Outside diameter (mm)	B 15			15			19			25			32			40	
Fit length (mm)	C 9			9			11			13			16			16	
Inside diameter possible from Ø to Ø H7 (mm)	D _{1H} 3-7			3-7			3-8			3-12.7			5-16			5-24	
Standard bore H7 (mm)	D _{2H} 8			8			8			8/10			10			10	
Fastening screw ISO 4762	E M2			M2			M2.5			M3			M4			M4	
Tightening torque of the fastening screws (Nm)	E 0.43			0.43			0.85			2.3			4			4.5	
Distance between centrelines (mm)	F 4.5			4.5			6			8			10			15	
Distance (mm)	G 3			3			3.5			4			5			5	
Distance (mm)	H ¹ 12 15 18 14			17 20 14.5			19.5 17 22 26			23.5 21.5 27.5			37.5				
Moment of inertia (gcm ⁴)	J _{axis} 2.6 2.8 3 3			3.4 3.6 8.5			9.5 25 27 29			100 108 160			205				
Weight (g)	9 9 9 9 10			11 22 24			36 38 40 74 78 120 130										
Torsional stiffness (Nm/rad)	C _T 280 210 170 510			380 320 750 700			1200 1200 1200 7000 9000 9950 8800										
Axial $\begin{matrix} \text{---} \text{---} \text{---} \end{matrix} \pm a$ (mm)	0.4 0.5 0.5 0.4			0.5 0.5 0.5 0.7 0.5 0.6 0.7 0.7 1 1 1.2													
Lateral $\begin{matrix} \text{---} \text{---} \end{matrix} \pm s$ (mm)	0.15 0.2 0.25 0.15			0.2 0.25 0.15 0.2 0.15 0.2 0.25 0.2 0.25 0.2 0.3													
Angular $\begin{matrix} \text{---} \text{---} \end{matrix} \pm \alpha$ (degree)	1 1.5 2 1 1.5 2			1.5 1.5 1.5 1.5 1.5 2 1.5 2 1.5 2													

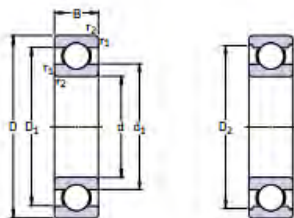
¹ min = 0.05 in. for 6

6 | R+W

www.rw-technik.de

Lampiran 6

Single row deep groove ball bearings
d 3 – 10 mm



Principal dimensions			Basic load ratings		Fatigue load limit P_e	Speed ratings		Mass	Designation
d	D	B	C	C_0		Reference speed	Limiting speed		
mm			kN		kN	r/min		kg	–
3	10	4	0,54	0,18	0,007	130 000	80 000	0,0015	623
4	9	2,5	0,54	0,18	0,007	140 000	85 000	0,0007	618/4
11	4		0,715	0,232	0,010	130 000	80 000	0,0017	619/4
12	4		0,806	0,28	0,012	120 000	75 000	0,0021	604
13	5		0,936	0,29	0,012	110 000	67 000	0,0031	624
16	5		1,11	0,38	0,016	95 000	60 000	0,0054	634
5	11	3	0,637	0,255	0,011	120 000	75 000	0,0012	618/5
13	4		0,884	0,34	0,014	110 000	67 000	0,0025	619/5
16	5		1,14	0,38	0,016	95 000	60 000	0,0050	* 625
19	6		2,34	0,95	0,04	80 000	50 000	0,0090	* 635
6	13	3,5	0,884	0,345	0,015	110 000	67 000	0,0020	618/6
15	5		1,24	0,475	0,02	100 000	63 000	0,0039	619/6
19	6		2,34	0,95	0,04	80 000	50 000	0,0084	* 626
7	14	3,5	0,956	0,4	0,017	100 000	63 000	0,0022	618/7
17	5		1,48	0,56	0,024	90 000	56 000	0,0049	619/7
19	6		2,34	0,95	0,04	85 000	53 000	0,0075	* 607
22	7		3,45	1,37	0,057	70 000	45 000	0,013	* 627
8	16	4	1,33	0,57	0,024	90 000	56 000	0,0030	618/8
19	6		1,9	0,735	0,031	80 000	50 000	0,0071	619/8
22	7		3,45	1,37	0,057	75 000	48 000	0,012	* 608
24	8		3,9	1,66	0,071	63 000	40 000	0,017	* 628
9	17	4	1,43	0,64	0,027	85 000	53 000	0,0034	618/9
20	6		2,08	0,865	0,036	80 000	48 000	0,0076	619/9
24	7		3,9	1,66	0,071	70 000	43 000	0,014	* 609
26	8		4,75	1,96	0,083	60 000	38 000	0,020	* 629
10	19	5	1,38	0,585	0,025	80 000	48 000	0,0055	61800
22	6		2,08	0,85	0,036	75 000	45 000	0,010	61900
26	8		4,75	1,96	0,083	67 000	40 000	0,019	* 6000
28	8		4,62	1,96	0,083	63 000	40 000	0,022	16100
30	9		5,4	2,36	0,1	56 000	34 000	0,032	* 6200
35	11		8,52	3,4	0,143	50 000	32 000	0,053	* 6300

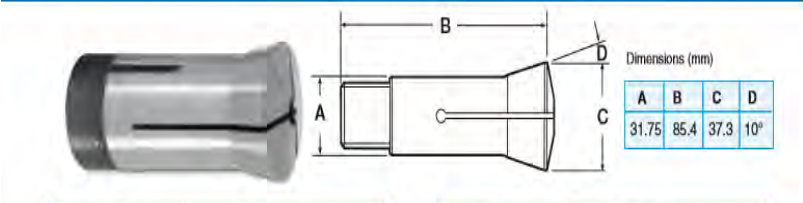
* SKF Explorer bearing

Lampiran 7



5C Collets (Metric)

Round only



Size	Part Number
0.5mm	5C-R-0.5
1.0mm	5C-R-1.0
1.5mm	5C-R-1.5
2.0mm	5C-R-2.0
2.5mm	5C-R-2.5
3.0mm	5C-R-3.0
3.5mm	5C-R-3.5
4.0mm	5C-R-4.0
4.5mm	5C-R-4.5
5.0mm	5C-R-5.0
5.5mm	5C-R-5.5
6.0mm	5C-R-6.0
6.5mm	5C-R-6.5
7.0mm	5C-R-7.0
7.5mm	5C-R-7.5
8.0mm	5C-R-8.0
8.5mm	5C-R-8.5
9.0mm	5C-R-9.0
9.5mm	5C-R-9.5
10.0mm	5C-R-10.0
10.5mm	5C-R-10.5
11.0mm	5C-R-11.0
11.5mm	5C-R-11.5
12.0mm	5C-R-12.0
12.5mm	5C-R-12.5
13.0mm	5C-R-13.0

Size	Part Number
18.0mm	5C-R-18.0
18.5mm	5C-R-18.5
19.0mm	5C-R-19.0
19.5mm	5C-R-19.5
20.0mm	5C-R-20.0
20.5mm	5C-R-20.5
21.0mm	5C-R-21.0
21.5mm	5C-R-21.5
22.0mm	5C-R-22.0
23.0mm	5C-R-23.0
23.5mm	5C-R-23.5
24.0mm	5C-R-24.0
24.5mm	5C-R-24.5
25.0mm	5C-R-25.0
25.5mm	5C-R-25.5
26.0mm	5C-R-26.0
26.5mm	5C-R-26.5
27.0mm	5C-R-27.0

Emergency Collet: 5C-EC

5C Round Collet Sets (Metric)

Set	No. of Collets	Model No.
3mm-27mm x 0.5mm	49	5C-SET-1
3mm-27mm x 1mm	25	5C-SET-2

Lampiran 8

4150 steel

Physical Properties	Metric
Density	7.85 g/cc

Mechanical Properties	Metric
Hardness, Brinell	341
Hardness, Knoop	369
Hardness, Rockwell B	99
Hardness, Rockwell C	37
Hardness, Vickers	361
Tensile Strength, Ultimate	1170 MPa
Tensile Strength, Yield	1076 MPa
Elongation at Break	14.6 %
Reduction of Area	45.5 %
Modulus of Elasticity	205 GPa
Bulk Modulus	140 GPa
Poissons Ratio	0.29
Machinability	55 %
Shear Modulus	80.0 GPa

Electrical Properties	Metric
Electrical Resistivity	0.0000245 ohm-cm







Thermal Properties	Metric
Specific Heat Capacity	0.475 J/g-°C
Thermal Conductivity	44.5 W/m-K

Component Elements Properties	Metric
Carbon, C	0.48 - 0.53 %

Lampiran 9

ABS

Physical Properties	Metric
Density	0.882 - 3.50 g/cc
Water Absorption	0.0250 - 2.30 %
Moisture Absorption at Equilibrium	0.150 - 0.220 %
Water Absorption at Saturation	0.300 - 1.03 %
Viscosity	255000 - 255000 cP @Temperature 240 - 240 °C
Maximum Moisture Content	0.0100 - 0.150
Linear Mold Shrinkage	0.00150 - 0.00800 cm/cm
Linear Mold Shrinkage, Transverse	0.00250 - 0.00900 cm/cm
Melt Flow	0.0800 - 80.0 g/10 min

Mechanical Properties	Metric
Hardness, Rockwell R	90.0 - 119
Hardness, H358/30	85.0 - 104 MPa
Ball Indentation Hardness	80.0 - 120 MPa
Tensile Strength, Ultimate	24.1 - 73.1 MPa
	20.0 - 52.0 MPa @Temperature -18.0 - 90.0 °C
Tensile Strength, Yield	20.0 - 73.1 MPa
	64.0 - 64.0 MPa @Temperature -18.0 - -18.0 °C
Elongation at Break	1.40 - 110 %
	15.0 - 15.0 % @Temperature -18.0 - -18.0 °C
Elongation at Yield	1.70 - 20.0 %
Modulus of Elasticity	0.778 - 6.10 GPa
	2.81 - 2.81 GPa @Temperature -18.0 - -18.0 °C
Flexural Yield Strength	10.3 - 111 MPa
Flexural Modulus	0.0241 - 6.89 GPa
	1.50 - 4.00 GPa @Temperature 60.0 - 90.0 °C
Izod Impact, Notched	0.100 - 6.40 J/cm
	0.350 - 3.00 J/cm

Lampiran 10

ASTM class 40

Physical Properties	Metric
Density	7.15 g/cc

Mechanical Properties	Metric
Hardness, Brinell	235
Hardness, Knoop	262
Hardness, Rockwell C	17.9
Hardness, Vickers	248
Tensile Strength, Ultimate	293 MPa
Modulus of Elasticity	110 - 138 GPa
Ultimate Compressive Strength	965 MPa
Poissons Ratio	0.29
Fatigue Strength	128 MPa
Shear Modulus	44.0 - 54.0 GPa
Shear Strength	393 MPa

Component Elements Properties	Metric
Carbon, C	3.25 - 3.5 %
Chromium, Cr	0.050 - 0.45 %
Copper, Cu	0.15 - 0.40 %
Manganese, Mn	0.50 - 0.90 %
Molybdenum, Mo	0.050 - 0.10 %
Nickel, Ni	0.050 - 0.20 %
Phosphorous, P	<= 0.12 %
Silicon, Si	1.8 - 2.3 %
Sulfur, S	<= 0.15 %

Lampiran 11

 3000RPM 6-12V DC Round Shaft High Torque Mini Micro



-
- **Power: 300 W**
 - **Voltage: 12 V 50 Hz (*)**
 - **R.p.m.: 3000 (*) (2/4 poles)**
 - **Form of construction: IM B3**
 - **Dimensions: 40 x 16 x 25 mm**
 - **Weight: 200 g**
 - **Current : 3 A**
-

DAFTAR PUSTAKA

Deutsman, Aaron D, Walter J Michels, Charles E Wilson. 1975. *Machine Design Theory and Practice*. New York : Macmillan Publishing Co,Inc.

Groover, Mikell P. 2010. *Fundamentals of Modern Manufacturing Material, Processes and systems*. United State of America.

Hibbeler, R.C. 2001. *Engineering Mechanics, Statics*. Prentice-Hall : Upper Saddle River.

Machining Data Handbook,3d ed., Machinability Data Center, Mercut Research Associates, Cincinnati, China 1980.

Sularso, Suga, Kiyokatsu. 1991. *Dasar Perencanaan dan Elemen Mesin dan Pemilihan Elemen Mesin 10th Edition*. Jakarta : PT. Pradnya Paramita.

Rochim, Taufik.1993. *Teori & Teknologi Proses Pemesinan*. Institut Teknologi Bandung.

Nurhadi, Hendro., Subowo., Hadi, Syamsul., Mursid, Mahirul. *Experimental-Based TGPID Motion Control for 2D CNC Machine*, Applied Mechanics and Materials, Vol. 493 (2014) pp 511-516, 2014.

Nurhadi, Hendro., Tarng, Yeong-Shin. *Open- and Closed-loop System of Computer Integrated Desktop-scale CNC Machine*, Proceed. of 2009 CACS International Automatic Control Conference, Taipei, Taiwan R.O.C., 27-29 November 2009.

Nurhadi, Hendro., Tarng, Yeong-Shin. *Experimental PC Based TGPID Control Method for 2D CNC Machine*, Expert Systems With Applications, Volume 38, Issue 7, pp.8949-8962, 2011.

Nurhadi, Hendro., Winarto., Purnomo, Sidik. *Desain dan Analisa Simulator CNC 3 Sumbu dengan Motor Servo AC*, Seminar Nasional Pascasarjana (SNPs) XIII 2013, ITS, Surabaya, 14-15 Agustus 2013.

Nurhadi, Hendro., Winarto., Wibowo, Tenang Dwi. *Desain dan Analisa Simulator CNC 3 Sumbu dengan Motor Stepper AC*, Seminar Nasional Pascasarjana (SNPs) XIII 2013, ITS, Surabaya, 14-15 Agustus 2013.

BIODATA PENULIS



Penulis mempunyai nama lengkap Endy Friyandi Putra, dia lahir di Surabaya pada tanggal 30 Desember 1992 dari pasangan Bapak Kusmiadi dan Ibu Rochmawati. Penulis merupakan anak kedua dari 2 bersaudara. Pendidikan formal yang pernah ditempuh yaitu SD Negeri Lidah Wetan 2, SMP Negeri 28 Surabaya, SMK Kristen Petra Surabaya dengan bidang studi Teknik Mesin. Setelah itu penulis meneruskan pendidikan tingkat perguruan tinggi di Program Studi D3 Teknik Mesin bidang Manufaktur di Institut Teknologi Sepuluh Noprmber pada tahun 2011.

Selama kuliah di D3 Teknik Mesin, FTI-ITS penulis selain beraktifitas sebagai mahasiswa, juga sering mengikuti pelatihan-pelatihan selama masa pendidikan dan juga mengikuti kepanitiaan-kepanitiaan suatu acara baik tingkat jurusan maupun fakultas. Penulis telah mengikuti organisasi diantaranya adalah Staff Minat Bakat HMDM tahun 2012-2013, Staff Ahli Kewirausahaan HMDM tahun 2013-2014 dan Asisten Lab Mekatronika. Pengalaman kerja penulis yaitu kerja praktek di PT Ispat Indo selama satu bulan, serta mengikuti pelatihan yang diselenggarakan PT CNC Controller Indonesia guna menunjang pengerjaan tugas akhir. Penulis juga menguasai beberapa software antara lain Solidwork, AutoCAD, MasterCAM, Microsoft Office dll. Selain itu penulis juga mempunyai hobi kegiatan *outdoor* seperti *hiking*, *touring*, dll. Penulis ingin menjadi sukses agar bisa membahagiakan orang-orang sekitarnya khususnya orang tua (Aamiien).

Email : endyfriyandiputra@gmail.com